

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

**В. Е. АБРАКІТОВ**

**КАРТОГРАФУВАННЯ ШУМОВОГО РЕЖИМУ  
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ МІСТА ПОЛТАВА**

Монографія

**Харків  
ХНУМГ  
2014**

УДК [528.235:62-533.4](477.53)  
ББК 26.1+38.93(4Ук-4Пол)  
А16

Рецензенти:

**В. Д. Мартовицький**, доктор технічних наук, професор, президент  
Донбаського регіонального відділення Міжнародної академії наук безпеки й  
екології

**Л. І. Нефьодов**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри  
Автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського  
національного автомобільно-дорожнього університету

Рекомендовано Вченою радою  
Харківського національного університету міського господарства  
імені О. М. Бекетова  
(протокол №10 від 31 травня 2013 року)

**Абракітов В. Е.**

А16 Картографування шумового режиму центральної  
частини міста Полтава : монографія / В. Е. Абракітов; Харк.  
нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - Х. : ХНУМГ,  
2014. - 175 с.  
ISBN 978-966-695-335-6

Робота продовжує цикл монографій автора, присвячених проблемі  
моделювання процесів розповсюдження звуку. В роботі розглянута  
методологія створення карт шуму населених місць із використанням  
прикладного програмного забезпечення ArcGis. Як територія, що підлягає  
дослідженню, був обраний центр м. Полтава. Це надає підстави для  
проведення різноманітних акустичних розрахунків, вирахування очікуваних  
рівнів звуку тощо. Книга ілюструється картами шуму, побудованими за  
рахунок застосування на практиці теоретичних положень роботи.

УДК [528.235:62-533.4](477.53)  
ББК 26.1+38.93(4Ук-4Пол)

ISBN 978-966-695-335-6

© Абракітов В. Е.,  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014

## ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА .....	4
1. ВСТУП.....	7
Частина 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ В ГАЛУЗІ АКУСТИКИ.....	11
1.1 Актуальність проблеми боротьби із шумом .....	11
1.2 Загальні відомості про звук у техніці.....	14
1.2.1 Звукові коливання як випадок механічних коливань.....	14
1.2.2 Поширення звуку .....	18
1.2.3 Випромінювання звуку .....	27
1.2.4 Джерела і приймачі звуку .....	30
1.2.5 Фізіологічні та анатомічні основи слуху людини.....	33
1.2.6 Межі слуху по висоті і розподіл сприйняття тонів по основній мембрані .....	39
1.2.7 Поріг чутності, поріг відчуття тиску, і чутливість слуху .....	40
1.2.8 Область слухового сприйняття.....	41
1.2.9 Музичні інтервали. Гамма.....	43
1.2.10 Нелінійні спотворення і комбінаційні тони .....	44
1.2.11 Бінауральний ефект .....	46
1.2.12 Шум як небезпечний та шкідливий фактор.....	48
1.2.13 Шкідливість шуму .....	50
Частина 2. ТЕОРЕТИЧНА БАЗА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	53
2.1 Джерела шуму і шумове тло в місті .....	53
2.2 Нормування шуму на території населених пунктів та на робочих місцях промислових підприємств .....	55
2.3 Необхідність у створенні карт шуму .....	60
2.4 Складові частини й побудова карти шуму міста.....	62
2.5 Завдання розміщення точок вимірювання рівнів шуму на місцевості.....	65
2.6 Ідеї автора в їх математичному поданні.....	67
Частина 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	73
3.1 Використовувані в дослідженнях вимірювальні прилади і устаткування .....	73
3.2 Умови та методика проведення вимірювань .....	76
3.3 Місце проведення вимірювань.....	78
3.4 Геодезичні підоснови території м. Полтава .....	81
3.5 Загальна уява про геоінформаційні системи та їхні особливості та побудову .....	84
3.6 Універсальність або спеціалізація?.....	94
3.7 Методика досліджень нашої наукової роботи .....	95
3.8 Польовий етап досліджень .....	97
3.9 Камеральна обробка результатів: (початок).....	105
3.9.1 Створення теки та файлу проекту.....	105
3.9.2 Про налаштування шейп-файлу .....	108
3.10 Створення бази геоданих, векторизація растрових зображень.....	113
3.11 Відбиття нормативних значень на майбутній карті шуму .....	120
Частина 4. ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ІЗ КАРТОГРАФУВАННЯ ШУМОВОГО РЕЖИМУ .....	134
4.1 Натурні дослідження шумового режиму на іншій території центральної частини м. Полтава.....	134
4.2 Виміри шуму і розподіл шумового забруднення на території Жовтневого району м. Полтава .....	146
4.3 Виміри шуму і розподіл шумового забруднення на рекреаційній території м. Полтава .....	158
4.4 Виміри шуму і розподіл шумового забруднення на рекреаційній території.....	165
Список використаних джерел .....	172

## ПЕРЕДМОВА

За останні роки в Україні вийшло чимало наукових монографій, присвячених проблемі екологічної безпеки довкілля. Особливе місце серед них займає серія наукових видань автора В. Е. Абракітова "Карти шуму міст України", присвячених акустичній безпеці різноманітних населених пунктів нашої держави. В рамках цієї серії вже опубліковані такі книги автора, як "Картографування шумового режиму центральної частини м. Харкова" (2010 р.), "Моделювання в акустиці" (2011 р.), "Строим карту шума г. Харькова" (2012 р.), "Картографування шумового режиму центральної частини м. Києва" (2012). Результатами цієї роботи є карти шуму міських територій, побудовані на підставі авторських вимірів і власних досліджень, із широким застосуванням інформаційних та комп'ютерних технологій, що дозволяють наочно відобразити зони акустичного забруднення, при тому графічно виділити зони із перевищенням рівнів шуму над нормативними жовтим та червоним кольорами, а території, що відповідають умовам акустичного комфорту - зеленим кольором. Таким чином, здійснюється екологічний моніторинг міських територій, що дозволяє вносити пропозиції з оптимізації шумового режиму та здійснювати конкретні заходи, що ведуть до поліпшення стану екологічної безпеки сучасних міст. Як вище було зазначено, книга "Картографування шумового режиму центральної частини м. Полтава" продовжує цілу низку попередніх робіт автора, присвячених розкриттю цієї теми. Вона суттєво відрізняється від них, по-перше, вибором нового місця досліджень (в попередніх монографіях зусиллями автора побудовано карти шуму для Києва, Харкова та ін. населених пунктів; м. Полтава як територія, що підлягає картографуванню шумового режиму, ні автором, ані іншими дослідниками жодного разу не обиралися), а по-друге, вдосконаленням методик дослідження, використовуваних автором обладнання, програмного забезпечення і т.п. Декілька іншим чином,

враховуючи досвід попередніх експериментальних досліджень, виконувалися планування експерименту, розташування контрольних точок, де проводилися виміри на місцевості, та ін.

В результаті ми маємо нову самостійну наукову роботу, що, з одного боку, за стилем та піднятою проблематикою вдало продовжує розпочату кілька років тому серію; а з другого боку, незважаючи на те, все ж таки суттєво відрізняється від попередніх монографій автора. Втім, карти шуму Києва, Харкова та Полтави, звісно, принципово різні між собою, (хоча й розповсюдження акустичного забруднення на території населених пунктів звичайно має певні єдині закономірності).

В будь-якому разі, експериментальне дослідження розповсюдження шумів на території м. Полтава виконується вперше, отже, має чималий науковий інтерес та характеризується визначеною науковою новизною.

В процесі роботи над книгою автору було зроблено зауваження про те, що, згідно з програмою його досліджень, картографування шумового режиму в м. Полтава було зроблене для Жовтневого району міста; втім, як Київський район міста має значно більшу інтенсивність руху транспорту, більші пасажиропотоки, - і, як наслідок, (що цілком вірогідно) - значно більші рівні шуму. Таким чином, карти шуму Жовтневого району слід залишити, якщо вони вже створені; але найбільшу цікавість викликатимуть не вони, а карти шуму саме Київського району міста (як більш шумного та проблематичного за прогнозованим станом акустичної безпеки). Автор оперативно відреагував на зауваження рецензента, виказане йому в процесі роботи, провів додаткові натурні виміри на означених міських територіях, і доповнив матеріали своїх досліджень новими результатами, що автоматично неминуче підвищило актуальність роботи, її інженерно-технічний обсяг (себто створено десять нових карт шуму на додаток до раніше побудованих, а слід напам'ятати читачеві, що створення хоча б однієї такої карти шуму є вирішенням одного цілковито самостійного

інженерно-технічного завдання), та, загалом, на наш погляд, деяким чином підняло комплексну якість роботи. Вважаю монографію В. Е. Абракітова "Картографування шумового режиму центральної частини м. Полтава" такою, що відповідає всім вимогам, що надані до наукових публікацій, і рекомендую її до публікації.

Завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно - інтегрованих технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, академік Академії будівництва України, доктор технічних наук, професор Л. І. Нефьодов

## 1. ВСТУП

Ми живемо в світі, який буквально насичений шкідливостями та небезпеками. Середовище, в якому ми живемо, є потенційно небезпечним для нашої життєдіяльності (рис. 1).



Рис. 1 – Приклади шкідливостей в сучасному місті

Рядовий мешканець будь-якого міста, як правило, перманентно випробує на собі різні негативні впливи цього середовища – на мікро-, - мезо- й макрорівнях (рис. 2). Ці негативні впливи мають небажані наслідки – як короточасні, та і довгострокові.

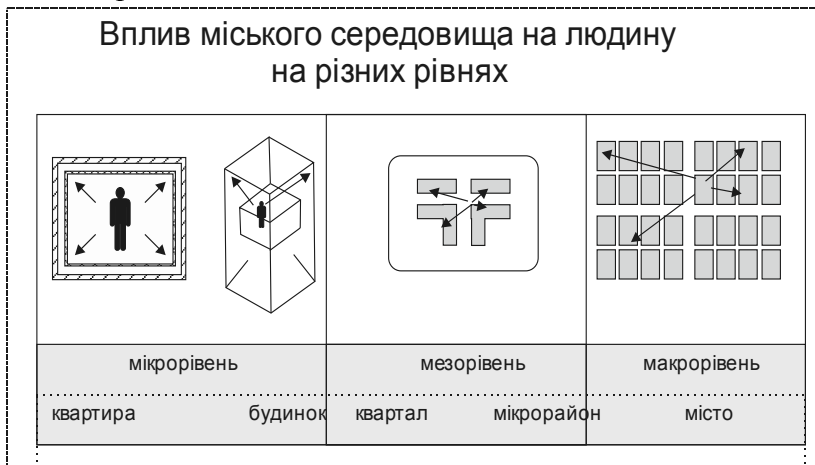


Рис. 2 – Класифікація рівнів впливу міського середовища на Людину

Джерела негативного впливу середовища на Людину в загальному вигляді можуть бути зведені до тих, що надані на рис. 3

### Джерела впливу та геопатогенні зони

**Космогенні.** Дії космічного походження, пов'язані з хвилевими процесами, обумовленими космічним середовищем, планетними і сонячними чинниками. Зони, що утворюються, можуть корелювати із змінами показників стану космічного середовища (полів, речовини), космогеофізическої і геліофізичною активністю визначених планетарних констеляцій (взаїмоположень) в астрономії і ін. Зони такого типу можуть виникати (і зникати) і як спонтанно збуджені області простору з аномальними властивостями.

**Геогенні.** Геологічного походження, пов'язані з генерацією хвилевих обурень в геосфері, випромінювання ядра Землі і мантійного шару, тектонічних процесів, рудних тіл, карстів і тому подібне Розрізняють регулярні і нерегулярні (локальні).

**Біогенні.** Біологічного походження, пов'язані з хвилевими процесами (енергоінформаційним обміном) в біосфері - дії або зони, що породжуються рослинами, тваринами, деякими біологічними співтовариствами (біоценозами) і тому подібне Ці зони можуть виникати навколо деяких видів рослин (дерева - береза, дуб, тополя), в зонах накопичення продуктів життєдіяльності людини (відходів, біологічно активних речовин), місцями проживання суспільних комах - мурашок, бджіл, ос і ін.

**Техногенні.** Пов'язані з роботою різних технічних пристроїв, конструкцією матеріалами будівель, споруд, специфікою штучної просторової організації середовища і вибраних архітектурних форм.

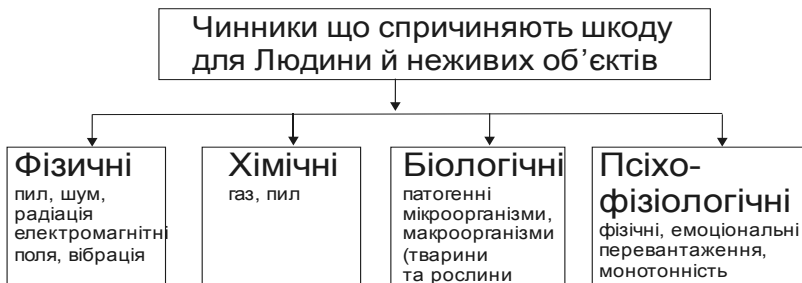
**Антропогенні** - дії, пов'язані з впливом навколишніх людей на організм і психіку людини, крім традиційних форм вербальної і невербальної взаємодії.

**Автохтонні** - дії на об'єкт, джерелом яких служить сам об'єкт. Розглядаються, як тимчасові періоди, інтервали (зони) сильних змін (перебудов) в організмі і психіці людини, як під дією внутрішніх (мимовільних) програм, так і від зовнішніх чинників.

*Рис. 3 - Джерела впливу та геопатогенні зони*

Дуже часто, проте, їх зводять ще в більш вузьке подання, надане на рис. 4.





*Рис. 4 – Чинники, що спричиняють шкоду для Людини й неживих об'єктів*

Серед перелічених негативних факторів, що характеризують взаємодію Людини і сучасного навколишнього техногенного середовища, найбільш поширене місце посіває шум.

Існує дуже багато аспектів шумового забруднення довкілля, але, на жаль не всі з них можемо охопити в нашій Книзі. У цій роботі ми сконцентруємо увагу на проблемі картографування шумового режиму.

Метою наших досліджень є картографування шумового режиму території об'єкту дослідження, а саме - зовнішньої території міста Полтава. Предметом досліджень при тому виступає математичне моделювання акустичних процесів й формування різноманітних заходів задля формування акустичного комфорту робітників підприємств та населення.

Дослідження здійснювалося такими методами експериментальні дослідження (натурні виміри шуму на території); теоретичні дослідження (побудова карт шуму означених об'єктів із застосуванням математичних моделей процесів розповсюдження звукових хвиль.

Нами вперше виконано картографування шумового режиму частини території м. Полтава (рис. 5) із застосуванням математичних моделей процесів розповсюдження звукових хвиль. До нас такі дослідження на вказаній території не проводилися.



*Рис. 5 – Візуалізація місця проведення вимірів та математичного моделювання в програмі Google Earth*

Практичне значення роботи полягає в тому, що внаслідок зазначеного картографування шумового режиму частини території м. Полтава виявлені зони шумового забруднення на території міста, які характеризовані значною кількістю контрольних точок із виміряними в кожній з них спектрами шуму. На підставі цих даних можна охарактеризувати стан акустичної безпеки в місті та запропонувати відповідні заходи і засоби боротьби із шумом.

## **Частина 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ В ГАЛУЗІ АКУСТИКИ**

### **1.1 Актуальність проблеми боротьби із шумом**

Науково-технічний прогрес у всіх галузях промисловості й на транспорті супроводжується розробкою й широким впровадженням різноманітного устаткування, верстатів і транспортних засобів. Ріст їхніх потужностей, та швидкий розвиток привели до того, що людина на виробництві й у побуті постійно піддається впливу шуму високої інтенсивності. Наслідком шкідливої дії шуму можуть бути професійні захворювання, підвищення загальної захворюваності, зниження працездатності, підвищення ступеня ризику травм і нещасних випадків, пов'язаних з порушенням сприйняття попереджувальних сигналів, порушення слухового контролю функціонування технологічного встаткування, зниження продуктивності праці. Весь комплекс змін, що виникають в організмі людини при тривалому впливі шуму, на сучасному рівні розглядається як «шумова хвороба».

На сьогодні відзначається незадовільний стан справ в області акустичної безпеки населення, який негативно впливає на фінансово-економічну діяльність промисловості України. Це викликає турботу як з боку населення, так і з боку законодавців, і тому в ст. 24 Закону України “Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення” [1] мова йде про захист населення нашої держави від шкідливого впливу шуму, й інших фізичних факторів. Актуальною народно-господарською проблемою є розробка ефективних заходів щодо боротьби зі шкідливою дією виробничого шуму, що базується на рішенні проблеми моделювання процесів поширення звуку на шляху від джерела до об'єкту, та надає можливість проектувати,

конструювати (і т.д.) різноманітні шумозахисні заходи й засоби саме на стадії проектування (або реконструкції) об'єкта, тобто коли він ще не існує в натурі.

Відсутність тиші в сучасних містах приводить до передчасної втоми. Шуми високих рівнів стають передумовою для розвитку стійкого безсоння, неврозів й атеросклерозу. Під впливом шуму з рівнями від 85 - 90 дБ починаються стійкі порушення здоров'я. Людина скаржиться на нездужання, випробовує головний біль, запаморочення, нудоту, надмірну дратівливість. Шум створює значне навантаження на нервову й серцево-судинну системи людини, здійснюючи на них руйнівний вплив. У цей час індивід, що піддається на роботі або дома впливу шуму, ризикує стати глухим. Протишумові дослідження, у якій би вузькій підгалузі акустичної екології вони не велися, у кожному разі мають велике позитивне значення в сучасних умовах.

Шум - постійний супутник людської життєдіяльності - один з головних винуватців стресу, дратівливості і втоми. Розрізняють повітряний шум, що виникає в повітрі, поширюється через конструкції, що захищають, і структурний шум, що виникає безпосередньо в конструкціях і випромінюється у вигляді повітряних звукових хвиль.

Незалежно від походження шум є шкідливим чинником, що впливає на людину. Особливо шкідливий міський шум, який супроводжує людину постійно протягом всієї доби і упродовж усього його життєвого процесу.

Дія шуму на організм людини визначається багатьма моментами - близькістю від джерела шуму, тривалістю дії, замкнутістю робочого простору, інтенсивністю фізичного навантаження. Постійний вплив цих чинників здатний привести до виникнення шумової хвороби.

Шкідливий вплив шуму на людину сьогодні загально-визнаний й проявляється в широкому діапазоні впливів, від суб'єктивних роздратувань до об'єктивних патологічних змін в органах центральної нервової й серцево-судинної систем [2]. У сучасному місті шум супроводжує людину практично постійно й повсюдно.

Шум діє не тільки на органи слуху. Подразнення шумом крізь волокна слухових нервів передається на центральну нервову та вегетативну нервові системи. Через ці системи шум негативно впливає на внутрішні органи людини, що призводить до значних змін у функціональному стані організму, впливає на психічний стан людини, викликаючи турботу та подразнення [3, 4].

Вплив шуму на центральну нервову систему викликає збільшення латентного періоду зорово-моторної діяльності, призводить до порушення рухомості нервових процесів, зміні енцефалографічних показників, порушує біоелектричну активність головного мозку із проявом загальних функціональних змін, суттєво змінює біопотенціали мозку, їхню динаміку, викликає біохімічні зміни у структурах головного мозку [5-7]. Люди, що знаходяться під впливом шуму, скаржаться на роздратованість, головний біль, запаморочення, підвищену утомливість, зменшення апетиту, та ін. Це є симптоми так званої "шумової хвороби", до симптомів якої віднесені: підвищення кислотності, серцево-судинна недостатність, нейроендокринні розлади.

Концепцію біологічної еквівалентності ефектів впливу шуму та нервового навантаження розглянуто в роботі [7].

Для захисту людей, що випробують негативну дію шуму, потрібне застосування комплексу заходів - технічних, організаційних і медико-біологічних.

## 1.2 Загальні відомості про звук у техніці

Вивчення умов поширення звукових хвиль у різних середовищах, вивчення й створення випромінювачів і приймачів звуку є завданням технічної акустики.

Усякий випромінювач і всякий приймач представляють собою деяку коливальну систему; тому в основі технічної акустики, як й акустики взагалі, лежить навчання про коливання, найбільш простим випадком яких є коливання матеріальної точки.

### 1.2.1 Звукові коливання як випадок механічних коливань

Матеріальна точка з масою  $m$ , віддалена на відстань  $x$  від свого положення рівноваги, що перебуває під дією пружної сили, що повертає її,  $f = -kx$ , здійснює прямолінійні гармонійні коливання, обумовлені рівнянням

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0$$

де  $k$  — множник, що характеризує пружну силу.

Загальний інтеграл рівняння, при відповідному підборі початкових умов:

$$x = A \sin \frac{2\pi t}{T},$$

де  $A = v \sqrt{\frac{m}{k}}$  — амплітуда;

$v = Aw$  - максимальна швидкість точки,

$T$  – період;

$2\pi/T = \omega t$  - фаза коливання;

$$\omega = 2\pi/T = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Якщо коливна точка зустрічає опір (тертя), що може бути

представлене як деяка сила, пропорційна швидкості точки  $r \frac{dx}{dt}$ ,

то рівняння коливання має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + kx = 0.$$

Загальний інтеграл цього рівняння:

$$x = e^{-\delta t} A' \sin w_0 t;$$

$$\text{де } w_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}.$$

Звідси видно, що

$$T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}},$$

більше, ніж період коливань, які не зустрічають опору (хоча в акустичних коливаннях ця зміна періоду є незначною). Наявність множника показує, що амплітуди  $A'$  зменшуються із часом за експонентним законом. Такі коливання називаються загасаючими. Швидкість убутання амплітуд характеризується логарифмічним декрементом загасання

$$\Delta = \delta T,$$

причому показник загасання

$$\delta = \frac{r}{2m}$$

обумовлюється величиною тертя й масою коливної частки.

Таким чином, власна частота системи

$$f = 1/T$$

залежить від її маси й пружності. Якщо ж на систему, - (або, у найпростішому випадку, на матеріальну точку), - діє деяка зовнішня періодична сила з періодом  $T'$  (як це має місце, наприклад, у випадку приймача звуку), то рівняння коливань

приймає вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + kx = B \sin pt,$$

де  $B$  - амплітуда,

$$p = \frac{2\pi}{T}, \text{ — кутова частота зовнішньої сили.}$$

Загальне рішення цього рівняння:

$$x = e^{-\frac{r}{2m}t} A' \sin(\omega t - \varphi) + \frac{B}{\sqrt{r^2 p^2 + k - m p^2}} \sin(pt - \varphi),$$

що вказує на наявність двох коливань:

власного - з періодом

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}} \cong \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}}$$

і вимушеного — з періодом зовнішньої сили. При зближенні цих періодів знаменник другого члена збільшується, і при рівності їх

$$p = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

маємо випадок резонансу, коли амплітуда змущеного коливання стає найбільшою й рівною

$$\frac{B}{r} \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Гострота резонансу обумовлюється загасанням, зменшуючись із його зростанням. Якщо на частку одночасно діють кілька зовнішніх періодичних сил, то її рух робиться складним, і її відхилення від місця спокою в кожен момент часу визначається



як сума відхилень, створюваних кожною силою окремо. Найбільш важливим в акустиці випадком такого додавання гармонійних коливань є такий, коли періоди зовнішніх сил однакова (інтерференція коливань); у результаті створюється гармонійне коливання того ж періоду. Зокрема, при рівності амплітуд і фаз двох коливань виникає коливання з подвоєною амплітудою, при протилежних фазах — коливання взаємно знищуються. У результаті додавання двох коливань із періодами, близькими друг до друга, виникають періодичні ослаблення й посилення звуку (биття). При рівності амплітуд коливань, що складаються між собою, із частотами  $f$  й  $f'$  миттєве відхилення точки

$$x = 2a \cos \left( 2\pi \frac{f - f'}{2} t \right) \sin \left( 2\pi \frac{f + f'}{2} t \right).$$

Звідки видно, що число биттів (тобто число разів, коли амплітуда обертається в 0) за 1 секунду дорівнює різниці чисел коливань. По наявності биттів можна встановити малі різниці в числах коливань двох тонів; биття навіть зовсім слабких або додаткових тонів, що входять до складу складного звуку, легко вловлюються вухом і дозволяють виділити із загального звуку той або інший слабкий тон, що маскується більш голосними звуками. При одночасному звучанні двох сильних тонів різних частот  $f_1$  й  $f_2$  виникають ще додаткові комбінаційні (різницеві й сумарні) тони із числами коливань, які можна виразити як

$$pf_1 \pm qf_2,$$

де  $p$  й  $q$  — цілі числа. Як показав Гельмгольц, ці додаткові коливання створюються в тому випадку, коли коливальна система, що приймає звук, має властивість асиметрії й рівняння коливань має ще член, пропорційна квадрату відхилення:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx + k_1 x^2 = 0.$$

Останній зі членів рівняння завжди невід'ємний, другий — при різних значеннях  $x$  те невід'ємний, те від'ємний. Несиметрична будова вуха служить причиною суб'єктивних комбінаційних тонів; існування об'єктивних комбінаційних тонів доводиться посиленням їхніми резонаторами; з них найбільш сильними бувають тони найнижчих порядків. При інтенсивних коливаннях, коли опір можна вважати пропорційним квадрату швидкості, рівняння коливань під дією двох зовнішніх сил має вигляд:

$$a \frac{d^2 x}{dt^2} + bx + c \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 = A \sin \omega_1 t + B \sin \omega_2 t.$$

Цим порозумівається виникнення комбінаційних тонів від симетрично коливної мембрани. Виникнення комбінаційних тонів відіграє важливу роль у передачі й відтворенні звуку.

### 1.2.2 Поширення звуку

Коливальний рух, що виник у пружному середовищі, передається через це середовище у вигляді хвиль. Рівняння хвильового процесу

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$$

дає зв'язок між якою-небудь величиною, що змінюється періодично (зсув точки, її швидкість, тиск, потенціал швидкостей), і відстанню від джерела коливань  $x$ . Множник  $c$  представляє швидкість поширення хвиль.

Загальне рішення рівняння

$$\xi = f_1(x-ct) + f_2(x+ct),$$

де  $f_1$  й  $f_2$  - довільні функції, містить у собі дві хвилі, що поширюються в протилежних напрямках. Якщо джерело створює прості гармонійні коливання з періодом  $T$ , то миттєвий зсув при поширенні тільки в одному напрямку (плоска хвиля)

$$\xi = A \sin 2\pi (t/T - x/\lambda),$$

де  $\lambda = cT = c/f$  — довжина хвилі.

Залежно від характеру коливань часток розрізняються хвилі поздовжні, поперечні й крутильні. Швидкість поширення звукових хвиль є функцією відношення пружності середовища до її щільності. Для різних типів хвиль ця функція має трохи відмінний вид. Так, у твердих тілах швидкість поздовжніх хвиль

$$c = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)\sqrt{1 - 2\mu}},$$

де  $E$  — модуль Юнга першого роду,  $\rho$  - щільність,  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

Для поздовжніх коливань

$$c = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2\sqrt{1 + \mu}},$$

а для крутильних коливань

$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

де  $F$  — модуль Юнга другого роду.

У рідинах і газах можливі лише поздовжні хвилі, коли кожен елемент обсягу піддається періодичним адіабатним стискам і розрідженням, або, що тим же саме, періодичним змінам щільності й тиски.

Швидкість звукових хвиль у газах виражається формулою Лапласа:

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p}{\rho}}$$

де  $p$  - пружність газу,  $\rho$  — щільність,

$$\gamma = c_p/c_v.$$

У рідинах величина  $\gamma$  може бути прийнята такою, що

дорівнює 1, так що для них

$$c = \frac{1}{\sqrt{\beta\rho}}$$

( $\beta$  - стискальність середовища).

Оскільки зміна тиску спричиняє зміна щільності, то саме по собі зміна тиску газу на швидкість звуку в ньому не впливає. Однак при високих тисках, коли стають помітними відступи від закону Бойля-Маріотта, швидкість звуку залежить від тиску. Навпаки, на швидкість звуку впливають зміни щільності газу. Тому на швидкість звуку в повітрі помітніше всього впливають зміни температури  $t$ , що їх враховують формулою

$$c_t = c \cdot \sqrt{\frac{T}{273}}.$$

Вологість впливає на  $c$  остільки, оскільки вона змінює показник  $c_p/c_\rho$ . Швидкість звуку дуже більшої інтенсивності (вибухи) значно більше зазначеної величини.

Наводимо тут у табл. 1.1 швидкості звуку в різних середовищах.

*Таблиця 1.1 - Швидкість звуку (довідкові дані), у м/с*

Швидкість звуку					
в газах		в рідинах		у твердих тілах	
Аргон	308	Етил, спирт, 95% (12°C)	1 241	Пробка	430 - 530
Хлор	206	Бензин (17°C)	1166	Залізо	5000
Гелій	971	Гас (7,2°C)	1 395	Мідь	3900
Кисень	315,5	Вода дистильована (13°C)	1 441	Дерево (різного сорту)	3360 - 5300
Водень	1 261			Цинк	3690
				Стекло	5 950
				Свинець	1320
				Віск	880

В залежності від характеру системи, що створює коливання (себто коливання площини, циліндра, кулі), у пружному середовищі можуть виникнути плоскі, циліндричні, кульові хвилі або ж їх більше складні комбінації. Швидкість їх не залежить від форми хвильового фронту. Звуковий процес у якому-небудь середовищі цілком визначений, коли для кожного моменту часу відома одна з наступних величин:

- зсув коливної частки середовища,
- швидкість частки,
- надлишковий тиск у середовищі.

Якщо зобразити процес у вигляді діаграми, відклавши по абсцисах час, по ординатах - одну із цих величин, то вийде звукова крива, що може бути представлена у вигляді ряду Фур'є, що містить члени, що відповідають основному тону звуку і його гармонік, від числа й інтенсивності яких залежить тембр звуку:

$$\xi(t) = \xi_0 + \sum_1^n \xi_n \sin(n\omega t + \varphi_n).$$

Інтенсивність звуку (чи то сила звуку) є та кількість енергії, що проходить через одиницю поверхні в 1 секунду, або, що та ж саме, кількість енергії, укладеної в циліндрі з підставою в 1 см<sup>2</sup> і з утворюючою, що дорівнює швидкості звуку.

Якщо зсув точки

$$x = A \sin \omega t,$$

тоді амплітуда швидкості частки дорівнює  $v = \omega x$ , й відповідно, амплітуда тиску дорівнює

$$P = \rho c v.$$

Для плоскої хвилі сила звуку

$$J = \frac{\rho c v^2}{2} = \frac{\rho c}{2} \cdot \omega^2 A^2 = \frac{P^2}{2\rho c} = \frac{Pv}{2}.$$

(Для кульової хвилі це вираження лише наближене, застосоване на відстані  $r \gg \lambda/2\pi$  від джерела.)

Між амплітудою надлишкового тиску й амплітудою швидкості частки існує пряма залежність

$$P = wv.$$

Вона аналогічна закону Ома, чому  $w$  називається акустичним опором середовища;  $w = c\rho$ .

Добуток акустичного опору на кутову частоту:  $H = w\omega$  називають акустичною твердістю середовища:

$$H = c\rho\omega = P/A.$$

Ця величина характеризує середовище в тому відношенні, що вона показує, як велика повинна бути в цьому середовищі амплітуда тиску, щоб створилася певна амплітуда зсуву. У міру видалення від джерела сила звуку в сферичних хвилях убиває за законом

$$J = J_0/r^2,$$

(якщо зневажити втрати на тертя й теплопровідність середовища), у циліндричних — за законом

$$J = J_0/r;$$

і в плоских хвилях залишається незмінною.

У дійсності ослаблення звуку завдяки перетворенню акустичної енергії в інші види (абсорбція звуку середовищем) відбувається швидше, і в ці вираження повинен бути уведений множник  $e^{-mz}$ , де, за Кирхгофом,

$$m = \frac{\omega^2}{2c^3} \left( \frac{4}{3} \nu + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \nu' \right);$$

тут  $\nu$  - коефіцієнт тертя,  $\nu'$  — коефіцієнт теплопровідності.

Для води

$$m = \frac{8\pi^2 f^2 \eta}{3\rho c^3},$$

де  $\eta$  - коефіцієнт внутрішнього тертя. Обчислені значення  $\eta$  такі:

– У повітрі  $\eta = 1,16 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^{-2} = 1,1 \cdot 10^{-13} \cdot f^2$

– У воді  $\eta = 2,63 \cdot 10^{-6} \cdot \lambda^2 = 1,35 \cdot 10^{-16} \cdot f^2$ .

Звідси видно, що більше короткі хвилі поглинаються на більше близьких відстанях, у силу чого, наприклад, повітряна звукова сигналізація на далекі відстані краща низькими тонами; у той же час поглинання звуку у воді набагато менше, ніж у повітрі, що робить підводну звукову сигналізацію більше вигідною, аніж повітряну. У повітрі хвилі частотою в 1 500 000 коливань у секунду були ще спостережувані, але при частоті в 3 000 000 коливань у секунду звукові хвилі в повітрі внаслідок їхнього поглинання існувати не можуть.

Явища в кульових хвилях більш складні, чим у плоских. У кульовій хвилі на близьких відстанях від джерела існує зрушення фази між тиском і швидкістю частки, при чому швидкість відстає від тиску тим більше, чим більше довжина хвилі, але зрушення фази зменшується з відстанню. Таким чином, випадок поширення кульової хвилі аналогічний проходженню однофазного струму через контур з опором і самоіндукцією. Вважаючи  $P$  аналогічним амплітуді напруги, а  $v$  - амплітуді струму, знайдемо, що сила звуку  $J$ , аналогічна потужності струму, виразиться не зазначеною вище формулою

$$J = \frac{P \cdot v}{2}$$

- (що є аналогічною формулі потужності струму в контурі без зрушення фази), а формулою

$$J = \frac{P \cdot v}{2} \cdot \cos \psi,$$

причому

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\lambda}{2\pi r}.$$

На відстані

$$r \gg \frac{\lambda}{2\pi r},$$

себто тоді, коли  $\cos \psi$  близький до 1, явища можна вважати такими ж, як і для випадку плоских хвиль.

При проходженні звуку через яке-небудь середовище особливо важливе значення має однорідність цього середовища. Якщо звук проходить із одного середовища в інше, то на границі відбувається відбиття за законом: кут падіння дорівнює куту відбиття. Чим більше розрізняються між собою акустичні твердості двох середовищ (або їхні акустичні опори), тим менше енергії проходить у друге середовище. При рівності цих величин звук проходить через границю без ослаблення; це найвигідніший випадок як для випромінювача, так і для приймача. Якщо відношення опорів і міцностей двох середовищ

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{H_1}{H_2} = n,$$

кількості відбитої  $J_R$  і минулої в друге середовище енергії  $J_D$  виражаються так:

$$J_R = J_0 \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2,$$

$$J_D = J_0 \frac{4n}{(n+1)^2}.$$

Відношення

$$J_D / J_0 = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

зветься коефіцієнтом проникнення, має такі значення:

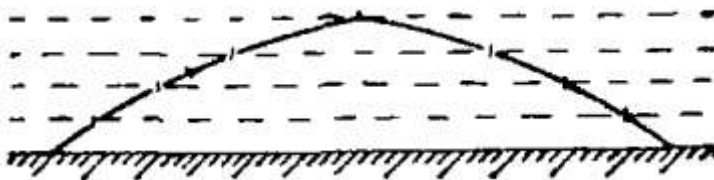
- вода-повітря 0,001167;
- повітря-мідь 0,000054;
- вода-мідь 0,18;
- вода-сталь 0,13;



– сталь-повітря 0,00004.

Ці величини показують, які труднощі представляє безпосереднє вислуховування звуку, що поширюється під водою. Відбиттям від неоднорідних шарів атмосфери (акустичні хмари) обумовлюються зменшення дальності, що зауважують іноді, при передачі звуку по повітрю. Відбиття звуку використається в рупорах і прийомних вирвах; слід зазначити, що у вільного отвору рупора також відбувається відбиття, що зменшує віддачу звуку назовні; такі ж шкідливі відбиття відбуваються у всіх місцях різкої зміни перетину рупора. При проходженні звуку із середовища, акустично більшого щільного (себто де швидкість звуку менше), у середовище, акустично менш щільне (тобто де швидкість звуку більше), може мати місце повне внутрішнє відбиття. Граничний кут його при проходженні звукового променя з повітря у воду дорівнює  $13^\circ$ , з повітря в мідь  $5^\circ$ , з води в мідь  $25^\circ$ .

На акустичний опір впливають температура й рух самого середовища (вітер). Якщо температура безупинно убуває з висотою, то промінь вигинається, звертаючись увігнутістю догори, отчого дальність у горизонтальному напрямку зменшується. При зростанні температури з висотою (як це буває в ясні ночі) дальність завдяки вигину променя у зворотному напрямку (рис. 1.1), навпаки, збільшується.



*Рис. 1.1 – Вигин звукового променя із висотою в атмосфері*

У воді дальність передачі звуку в найбільш холодні місяці (себто в лютому) збільшується в 3 рази й більш тому, що верхні шари холодніше нижніх і промінь вигинається опуклістю донизу (рис. 1.2).

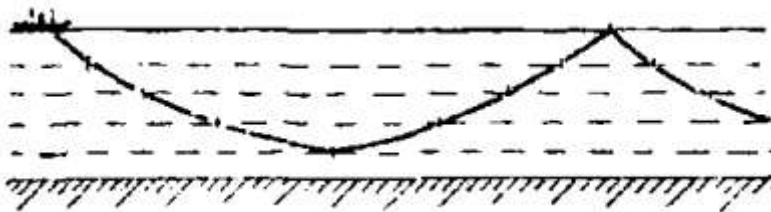


Рис. 1.2 – Вигин звукового променя із глибиною в водоймі

Якщо температура із глибиною знижується, то промінь йде, вигинаючись увігнутістю вниз. Аналогічно температурі при розповсюдженні в атмосфері впливає вітер; тому що швидкість звуку по вітрі більше, ніж проти нього, те, у випадку зростання швидкості вітру з висотою, будуть спостерігатися згинання звукових променів і зміни дальності (рис. 1.3).

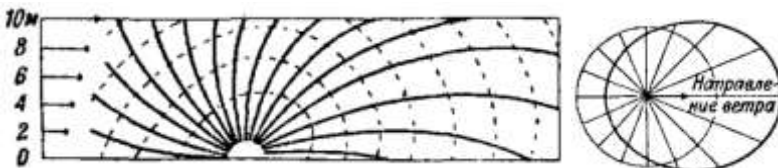


Рис. 1.3 – Вигин звукового променя із впливом вітру в атмосфері

Коли звуковий промінь зустрічає на шляху перешкоду, тоді, відповідно до принципу Гюйгенса, у границі перешкоди відбувається вигин хвильового фронту, тобто спостерігається явище дифракції, тим більше помітне, чим більше довжина хвилі.

Тому звукова тінь утворюється лише від більших перешкод; вона виявляється більше помітною при коротких звукових хвилях.

### 1.2.3 Випромінювання звуку

Система, що здійснює коливання, передані в навколишнє середовище, є випромінювачем акустичної енергії, а та, у якій збуджуються коливання під дією звукових хвиль у середовищі, є приймач звуку. Розрізняють випромінювачі нульового, першого, другого й т.д. порядку, відповідно до порядку Бесселевої функції, що входить у вираження потенціалу швидкостей коливної системи. Рівняння коливань системи, що випромінює енергію, має вигляд:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + Kx = B \sin pt ,$$

де

$$M = m + m_s$$

— маса випромінювача + гідродинамічна маса середовища, що коливається разом з випромінювачем,  $R$  - множник, що характеризує втрату енергії, причому частина втрат обумовлена тертям і значною часткою втрати енергії системи доводиться на випромінювання;  $K$  - множник, що характеризує пружні властивості випромінювача й прилягаючого до нього шаруючи середовища.

Звернувшись знову до аналогії з електричним струмом, можна написати рівняння, аналогічне рівнянню контуру із самоіндукцією:

$$p = w_s v + M \frac{dv}{dt} .$$

Тут  $w$  — опір, обумовлений головним чином випромінюванням і називане опором випромінювання. Найпростішим випромінювачем нульового порядку є невагома пульсуюча кулька, тобто така куля, що періодично міняє свій обсяг (рис. 1.4, а).

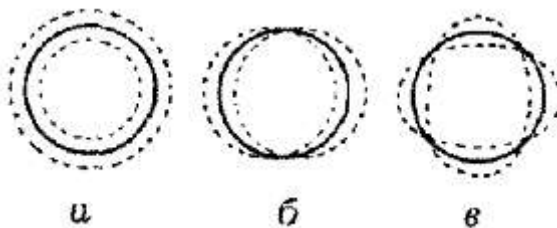


Рис. 1.4 – Випромінювачі нульового, першого та другого порядків

Такий випромінювач створює кульові хвилі. Для нього величина

$$m = 4\pi r^3 \rho$$

(де  $r$  — його радіус,  $\rho$  — щільність середовища) і опір випромінювання (при  $r \gg \lambda$ )  $w$ , рівне  $4\pi r^2 z \rho$ , виявляються не залежними від частоти, але для малих випромінювачів ( $r < \lambda$ )

$$w_s = \frac{4\pi r^4 \rho \omega^2}{c}.$$

Логарифмічний декремент випромінювання

$$\Delta_s = \frac{\pi r \omega}{c},$$

себто загасання його пропорційно частоті. Найпростіший випромінювач першого порядку - невагома кулька, що робить прямолінійні гармонійні коливання біля деякого центра (рис. 1.4, б).

Він створює коливання, що поширюються по лінії його рухів; випромінювання в екваторіальній площині немає. Тут опір випромінювання для випадку малого випромінювача ( $r \ll \lambda$ )

$$w_s = \frac{\pi}{3} c \rho k^4 r^6$$

де

$$k = w/c = 2\pi/\lambda,$$

для випадку великого випромінювача ( $r \gg \lambda$ )

$$w_s = \frac{4}{3} \pi c \rho r^2;$$

при  $r \ll \lambda$  величина

$$m_s = \frac{2\pi}{3} \rho r^2,$$

а при  $r \gg \lambda$

$$m_s = \frac{r \rho \lambda^2}{3\pi}.$$

Логарифмічний декремент (при  $r \ll \lambda$ )

$$\Delta_s = 4\pi^4 \left( \frac{r}{\lambda} \right)^3,$$

а при  $r \gg \lambda$

$$\Delta_s = 2\pi^3 \frac{r}{\lambda}.$$

Випромінювач другого порядку - куля, що змінює свій обсяг таким чином, що в ньому завжди зберігаються дві вузлові лінії (рис. 1.4, в).

В акустиці випромінювачі другого й вищого порядків відіграють малу роль.

Практично випромінювачем нульового порядку є поршнева мембрана, (що рухається цілком, як поршень), якщо вона оточена нескінченною нерухомою площиною й рухається крізь отвір у ній; якщо ж вона рухається у вільному просторі, то вона - випромінювач першого порядку. Найбільш важливий випадок натягнутої мембрани, закріпленої на краї, може бути з достатнім наближенням зведений до випадку поршневої мембрани.

Теоретично найпростішим приймачем є деформована куля, що перебуває в газоподібному або рідкому середовищі. Щоб міг здійснюватися прийом, стискальності кулі й середовища

повинні бути різні. Вираження потенціалу швидкостей такої кулі:

$$\varphi = \frac{\pi V}{\lambda^2 r} \left( \frac{\beta' - \beta}{\beta'} + 3 \frac{\rho' - \rho}{\rho + 2\rho'} \cos a \right) \cos \frac{2\pi}{\lambda} (ct - r)$$

тут  $V$ - обсяг кулі,  $r$  й  $a$  — плоскі полярні координати його центра (причому вісь координат лежить у напрямку фронту плоских хвиль),  $\beta$  і  $\beta'$  — стискальності середовища й кулі,  $\rho$  і  $\rho'$ -щільності середовища й кулі.

Розходження стискальностей

$$\frac{\beta' - \beta}{\beta'}$$

не створює спрямованого ефекту, що залежить від розходження в щільностях середовища й приймача (другий член:

$$3 \frac{\rho' - \rho}{\rho + 2\rho'} \cos a).$$

Можна розрізнити два крайніх випадки: коли куля майже цілком тверда і коли вона майже цілком податлива. У першому випадку в ній виникають майже одні зміни тисків (без зсувів), у другому - зсуви (без зміни тисків). У першому випадку ми маємо приймач, що реагує на зміни тисків («приймач тисків»), у другому - реагуючий на зміни зсувів («приймач зсувів»). Ці два типи можна зрівняти із двома електричними прибором-вольтметром й амперметром, що реагують на напругу й силу струму. Приймачі, як і випромінювачі, бувають нульового, першого й вищого порядків.

#### 1.2.4 Джерела і приймачі звуку

Джерела звуку можуть бути розділені за такими ознаками:

1) такі, у яких маса і пружність розподілені рівномірно (струна, мембрана, стержень і тому подібне);

2) такі, у яких маса і пружність розділені (наприклад,

поршнева мембрана дифузора гучномовця).

За формою їх можна розділити на ті, що мають один вимір (себто струни, стержні, повітряні або рідкі стовпи), два виміри (мембрани, дзвони), і такі, що мають три виміри (кубичний резонатор). Збудження їх також може бути різне: механічне (удар, тертя, вдування), електричне, магнітне, теплове.

**Найголовніші типи випромінювачів** наступні:

а) В струні віддзеркаленням поперечних коливань від її кінців створюються стоячі хвилі, при чому між кінцями струни можуть утворитися симетрично 1, 2, 3,.. вузла. Звукова віддача струни незначна.

б) В стержнях, тобто в твердих тілах, поперечні розміри яких деяким чином співвідносяться із їх подовжніми розмірами, можуть створюватися подовжні, поперечні або крутильні коливання. Стоячі хвилі, що створилися в стержні, можуть утворити вузли на кінцях або в середніх ділянках стержня, залежно за способом його закріплення. Частковим випадком стержня, що коливається, є камертон.

в) Коливання повітряного стовпа в трубі, що є акустичним резонатором, збуджуються або вдуванням повітря в одному кінці труби, причому струмінь, що розбивається, створює вихори (органні труби), або тремтіннями металевого язичка, що коливається під дією протікаючого повітря (язичкові труби). Таким чином, труба являє собою пов'язану систему резонатора з механічним збудником коливань. На кінці відкритої труби завжди є пучність, на кінці закритої - вузол стоячих хвиль.

г) Найчастіше вживана для сигналізації сирена є випромінювачем нульового порядку.

д) Поверхневі випромінювачі в більшості електроакустичних пристосувань (телефон, гучномовець, підводний передавач) розділяються на поршневі випромінювачі і власне

мембрани, закріплені по краю і піддані натягненню.

е) Дзвонами, вживаними в повітряній і підводній сигналізації, є випромінювачі 2-го порядку.

ж) Для створення ультразвукових хвиль користуються механічними коливаннями п'єзоелектричних кварцевих пластинок, власна механічна частота яких однакова з частотою збуджуючого кварц змінного електричного поля.

Потужні джерела звуку у вигляді вибухів створюють особливий тип хвиль - вибухові хвилі. У вибуховій хвилі виникає надзвичайно великий тиск, який швидко падає ззаду хвилі; товщина шару, що згущує, дорівнює  $6,6 \cdot 10^{-8}$  м при надлишковому тиску, що в 10 разів перевищує атмосферний тиск. У міру видалення від місця джерела звуку надлишковий тиск розподіляється більш рівномірно, і хвиля приймає характер, близький до синусоїдального. Швидкість поширення таких хвиль набагато більше звичайної швидкості звуку

Виміри швидкостей поширення вибухових хвиль в трубках давали величини від 12 до 14 км/с. Проте, у міру видалення від джерела швидкість вибухової хвилі зменшується і наближається до нормальної. Вибухові хвилі мають надзвичайну дальність поширення до 400 км, що обумовлюється загином вниз звукових променів, що доходять до верхніх шарів атмосфери. Завдяки цьому між пунктами найбільш далекої чутності і джерелом вибуху знаходиться "зона мовчання", куди звукові хвилі не потрапляють.

Основним пристосуванням для прийому звуку є мембрана. Як приймачі можуть застосовуватися або поршневі або натягнуті мембрани, закріплені по краях. Максимальна потужність, що поглинається із звукового поля, за умови резонансу між приймачем і акустичними коливаннями в середовищі, для приймача нульового порядку



$$L_{max} = \frac{P^2}{2} \cdot \frac{\lambda^2}{c\rho\pi}$$

підкоряється умові, що загасання випромінювання і загасання поглинання системи мають бути однакові. За тієї ж умови найбільша потужність, що поглинається, приймачем 1-го порядку

$$L_{max} = \frac{P^2}{2\rho c} \cdot \frac{\lambda^2}{3\pi}$$

Щоб приймач не спотворював звукового поля, розміри його мають бути менше довжини хвилі, що приймається.

Зазвичай сприйнятий звук перетворюється на електричні коливання. Це виконується мікрофонами.

### 1.2.5 Фізіологічні та анатомічні основи слуху людини

Слух, - це сприйняття за допомогою вуха коливань матеріальних тіл, що здійснюються в певному інтервалі частот 20-20000 коливань в секунду, і передаваних через повітря або безпосередньо через тіло. Побудову вуха (див. рис. 1.5)

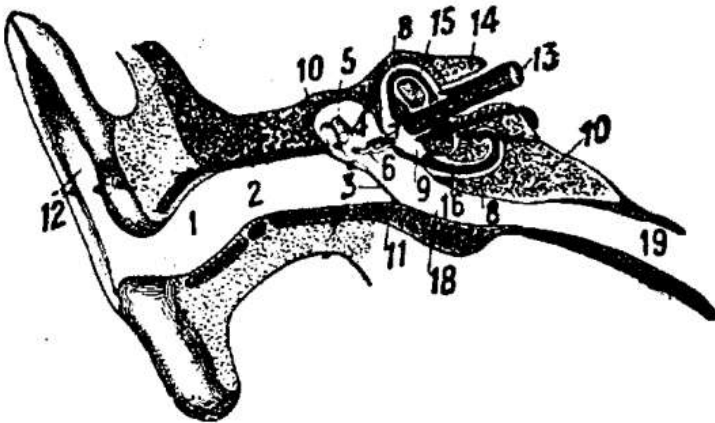
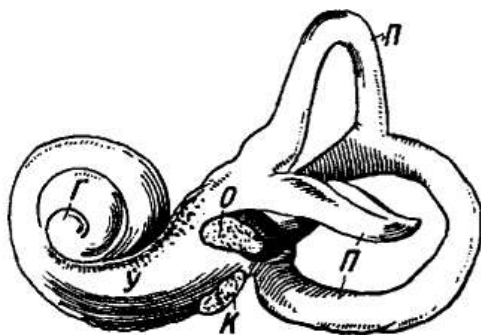


Рис. 1.5 – Будова вуха людини

Звукові коливання проходять з повітря через зовнішній слуховий прохід 1,2 і, виробляючи зміни тиску, приводять в

коливання пружну барабанну перетинку 3 і пов'язаний з нею ланцюг з трьох зчленованих кісточок: молота 4, ковадла 5 і стремени 6, які лежать в повітряній порожнині середнього вуха; 7 - овальне вікно, 8 - кістковий лабіринт, 9 - перилімфатична область, 10 - скронева кістка, так наз. скеляста частина, 11 – кругле вікно, 12 – вушна раковина, 13-слуховий нерв, 14 - внутрішній слуховий прохід, 15-один з трьох півкруглих каналів, 16 - хід равлика 18 - середнє вуха, 19 - євстахієва труба. Основа стремени зрощена з пружною перетинкою що закриває овальне вікно 7, яке веде в порожнину внутрішнього вуха (лабіринт) (див. рис. 1.6), куди і передаються коливання стремени.



*Рис. 1.6 – Внутрішнє вуха людини*

Внутрішнє вуха є периферичним органом слуху і одночасно органом рівноваги (півкруглі канали П); воно є складної форми кісткову утворення в глибині скроневої кістки, наповнена рідиною (лімфою) особливого складу. Звук може проникати у внутрішнє вуха також безпосередньо через повітря середнього вуха і через кістки черепа (кісткова провідність), тому барабанна перетинка і слухові кісточки не безумовно потрібні для сприйняття звуку. Орган слуху розташований в спіральній частині внутрішнього вуха – равлику У. Головну роль в сприйнятті

звуків грає спіральна перетинка - основна мембрана (*membrana basilaris*), що йде уздовж усього ходу равлика від овального вікна до вершини равлика, уздовж якої розгалужуються закінчення слухового нерва. Равлик має ще другий отвір, що веде в порожнину середнього вуха - кругле вікно *K*, зтягнуте також пружною перетинкою, що дозволяє рідини під дією коливань стремена вільно зміщуватися через ходи равлика, приводячи попутно в рух основну мембрану (рис. 1.7).

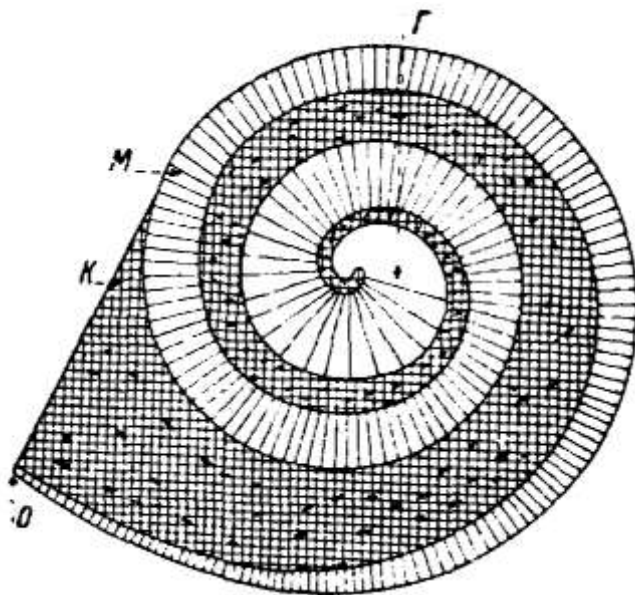


Рис. 1.7 – Схематичний розріз равлика в площині основної мембрани

Барабанна перетинка може бути більш менш сильно натягнута дією особливого мускула (*musculus tensor tympani*), під дією якого чутливість вуха може в широких межах змінюватися, причому усі завитки равлика умовно зображені в одній площині; поперечне штрихування, нанесене на основній мембрані *M*, показує напрям її структурних волокон; ширина основної мембрани у вершини равлика (*Г* - геліотрема) біля

0,5 мм, біля основи овального вікна *O* - близько 0,4 мм; ширина ходу равлика по довжині равлика не однакова 1-3 мм, довжина його від 30 до 33 мм.

Канал равлика по усій довжині розділяється на дві половини, причому межею між ними служить частиною кісткова перегородка *K* (*lamina spiralis*), частиною - основна мембрана *M* (рис. 1.8).

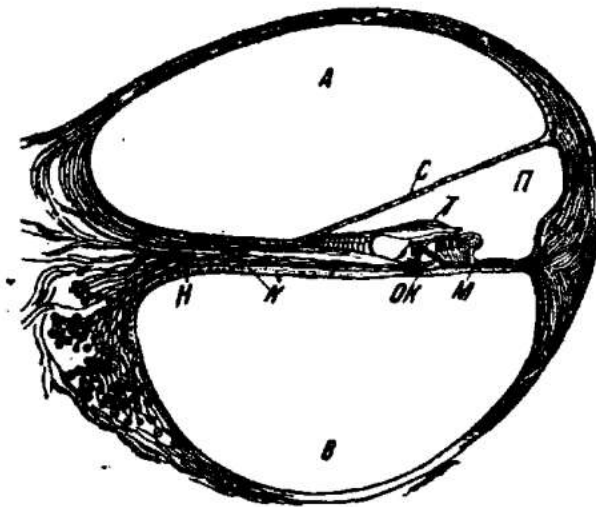
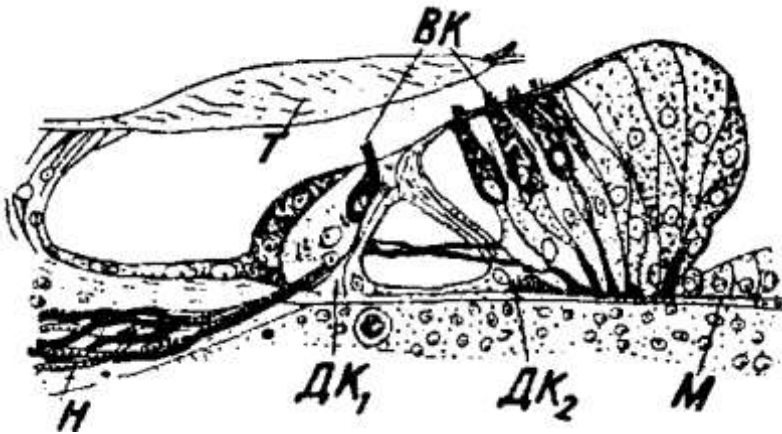


Рис. 1.8 – Слуховий аналізатор людини

Та половина ходу, яка належить до овального вікна, носить назву вестибулярного ходу - *A*; інша половина, прилегла до круглого вікна, називається барабанним ходом - *B*. Барабанний і вестибулярний ходи з'єднуються у вершини равлика через малий отвір, званий гелікотремою - *Г*. Основна мембрана разом з приєднаними до неї переддверною мембраною *С* і оболонкою, що лежить у стінки лабіринту, утворюють спіральну порожнину тригранного перерізу (перетинковий лабіринт - *П*), що йде по усій довжині равлика; вона наповнена рідиною (ендолімфою), в яку занурені усі структурні елементи основної мембрани з

нервовими закінченнями, що розгалужуються по ній. Основна мембрана складається з великого числа поперечних волокон, слабо пов'язаних один з одним і як би подібних до натягнутих струн. У краю кісткової перегородки *K* основна мембрана сильно потовщена, і паралельно цьому потовщенню по усій довжині розташована тонка перетинка - текториальна мембрана - *T* (рис. 1.8 і 1.9).

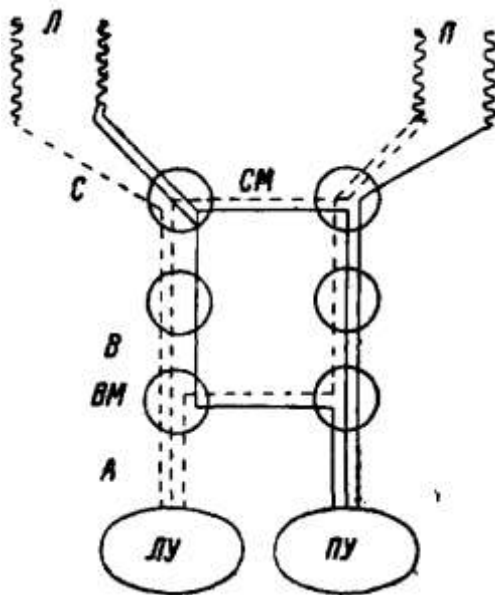


*Рис. 1.9 – Мембрана вуха*

У області потовщення в основній мембрані закладений ряд складних утворень (орган Корти), з якими очевидно пов'язані пружні властивості основної мембрани; орган Корти складається з пружних дуг Корти (внутрішніх і зовнішніх) і розгалужених між ними нервових волокон *Н* із закінченнями у вигляді волохатих клітин - *ВК*, промовців в ендолімфу перетинкового лабіринту навпроти текториальної мембрани (рис. 1.9).

Загальне число кортієвих дуг з нервовими клітинами на кінцях складає близько 24 000. Слуховий нерв *Н* містить близько 3 000 окремих нервових волокон; центральні частини цих волокон, що проводять збудження, мають діаметр 0,01 мм і

одягнені досить товстою м'ялиною оболонкою. Слуховий нерв виходить з равлика і проходить до мозку в області нижньої частини варолієва моста *ВМ*; тут частина нервових волокон закінчується, перемикається в нові волокна і частково переходить з правого боку на ліву і назад (рис. 1.9); у області середнього мозку *СМ* таке перемикання і перехід знову мають місце. В результаті нервові шляхи від кожного вуха досягають слухового центру в скроневій долі мозку, частиною на тій же стороні, як і вухо, частиною на протилежній; сприйняття звуку таким чином дублюється в обох мозкових півкулях (правій *П* і лівій *Л*), тому при захворюванні або видаленні області мозку, що містить слуховий центр з одного боку, протилежне вухо не глухне.



*Рис. 1.9 – Принципова схема слухового аналізатору людини*

Нижче наводяться дані про середні розміри різних частин слухового апарату людини :

Площа зовнішнього слухового каналу, м <sup>2</sup>	0,0033-0,005
Глибина зовнішнього слухового каналу, м	0,021 -0,026
Об'єм зовнішнього слухового каналу, м <sup>3</sup>	0,000001
Горизонтальний діаметр барабанної перетинки, м	0,01
Вертикальний діаметр барабанної перетинки, м	0,0085
Площа барабанної перетинки, м <sup>2</sup>	0,0065
Вага молоточка, г	23
Вага ковадла, г	25
Вага стремени, г	3
Об'єм внутрішнього вуха, м <sup>3</sup>	0,0000002
Об'єм равлика, м <sup>3</sup>	0,00000012
Довжина основної мембрани, мм	31
Ширина основної мембрани біля основи, мм	0,04
Ширина основної мембрани у вершини, мм	0,5
Площа отвору гелікотреми, мм <sup>2</sup>	0,25
Площа овального вікна, мм <sup>2</sup> 3	
Площа круглого вікна, мм <sup>2</sup>	2

### **1.2.6 Межі слуху по висоті і розподіл сприйняття тонів по основній мембрані**

Найнижчі тони, що сприймаються вухом як звук, мають частоту 16-20 Гц, найвищі - близько 20000 Гц. Тони, що мають менше 16 Гц, сприймаються вже як окремі поштовхи, а не як звук. Висловлюються гіпотези, що сприйняття низьких тонів відбувається лише внаслідок того, що вони збуджують в слуховому апараті обертони (так звані суб'єктивні тони) і що фактично в равлику немає чутливих елементів, відповідних тонам нижче 50, а може бути і 80 Гц. До звуків понад 15000 Гц вухо стає відразу менш чутливим; на інтервалі 14 000-19000 Гц чутливість падає в десятки разів. Це примушує припускати, що у високій області крайні волокна равлика ймовірно відповідають ~15 000 Гц або навіть нижче і звуки, що лежать вище за цю межу, лише слабо збуджують ці крайні волокна, причому дія їх швидко падає у міру підвищення збуджуючого тону. Посилення тону в 25 разів підвищує верхню межу слуху на 1 000 Гц; посилення в 10 разів - на 200 Гц. У старих людей

верхня межа зазвичай падає до 10 000-12 000 Гц і нижче. Багато людей можуть чути звуки дещо вищі, ніж 20000 Гц.

### 1.2.7 Поріг чутності, поріг відчуття тиску, і чутливість слуху

Мінімальна відчутна величина сили звуку (поток звукової енергії), називається порогом чутності, а зворотна величина - чутливістю.

Якщо два звуки мають інтенсивності  $I$  та  $I_0$ , обмірювані в  $\text{Вт/м}^2$ , притому  $= 10^{-7} \text{ Вт, м}^2$ , то

$$L = \lg I / I_0, \text{ Б.}$$

Цій одиниці присвоєна назва Бел (на честь винахідника телефону Белла); десята частина бела названа децибел (дБ).

Виразення різниці рівнів енергії в децибелах, отримуване по формулі

$$L = 10 \lg I / I_0, \text{ Б}$$

зручніше, оскільки мінімальна відчутна різниця в силі звуку не перевищує 1 дБ і тому вага величини має сенс округлювати до цілих одиниць. Зміна рівня на 10 дБ відповідає зміні в 10 разів, на 20 дБ - в 100 разів, на 30 дБ - в 1 000 разів і т. д.

Якщо два звуки мають амплітуди  $a_1$  і  $a_2$  або тиски  $p_1$  і  $p_2$  (ефективні значення) або інтенсивності  $J_1$  і  $J_2$ , то різниця рівнів інтенсивності звуку між ними в дБ буде:

$$20 \lg a_1 / a_2 = 20 \lg p_1 / p_2 = 10 \lg I / I_0, \text{ дБ}$$

Чутливість до тонів в 20000 Гц приблизно в 100 млн. разів менше, ніж при 2000 Гц.

Індивідуальні відхилення гостроти слуху від норми можуть бути дуже великі, особливо при різних захворюваннях, наприклад, нежить і захворювання середнього вуха сильно знижують чутливість в області низьких тонів. Дуже часто спостерігається підвищена проти норми чутливість слуху у вузькій області частот.

При посиленні звуку до відомої межі в ющі починає відчуватися тиск або звук як би починає "осягатися вухом". Для



низьких частот це відчуття настає при тисках близько  $0,2 \cdot 10^2$  Па, для високих – при тисках біля  $2 \cdot 10^2$  Па; це тиск того ж порядку, яке вже відчувається шкірою. Вище за цю межу настає відчуття болю в ющі і запаморочення, оскільки зачіпається орган рівноваги (лабіринт). Поріг дотику в ющі обумовлений поза сумнівом перевантаженням апарату середнього вуха - барабанної перетинки і слухових кісточок.

### **1.2.8 Область слухового сприйняття**

Крива порогу чутності і крива порогу тиску на рис. 1.10 обмежують деяку замкнуту область слухового сприйняття. Людина може сприймати лише звуки, що знаходяться по висоті і силі в межах цієї області. Вона має розмір в 10 октав по висоті і близько 140 дБ по інтенсивності звуку (у області 1000-2000 Hz). Область звуків мови, показана штрихуванням, займає приблизно середину області слухового сприйняття.

Відносно простим завданням електроніки і вимірювальної техніки є побудова спеціальної електронної схеми, чутливість якої змінюється з частотою згідно з частотними змінами чутливості людського слуху. Нині широко застосовуються визначувані міжнародними рекомендаціями і стандартами схеми частотної корекції, позначені "А", "В" і "С".

Характеристика схеми "А", що коригує, відповідає кривим рівної гучності в області низьких рівнів звукового тиску, схема "В" являється наближенням в області середніх рівнів звукового тиску, а параметри схеми "С" відповідають кривим рівної гучності в області високих рівнів звукового тиску.

Проте в більшості практичних областей віддається перевага схемі частотної корекції "А" зважаючи на відносно поганій кореляції між результатами суб'єктивних експериментів і об'єктивних вимірів приладами з схемами частотної корекції "В" і "С". Слід зазначити, що нині є додаткова схема частотної корекції "D", визначувана міжнародними рекомендаціями і стандартами і призначена для вимірів шуму літаків (рис. 1.11).

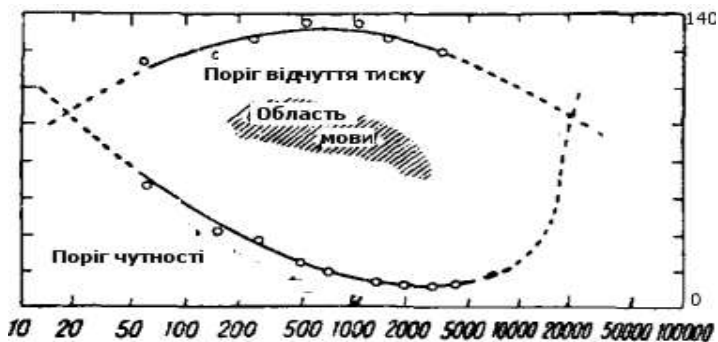


Рис. 1.11 - Область слухового сприйняття людини: вісь абсцис – частота, Гц; вісь ординат – рівень інтенсивності, дБ

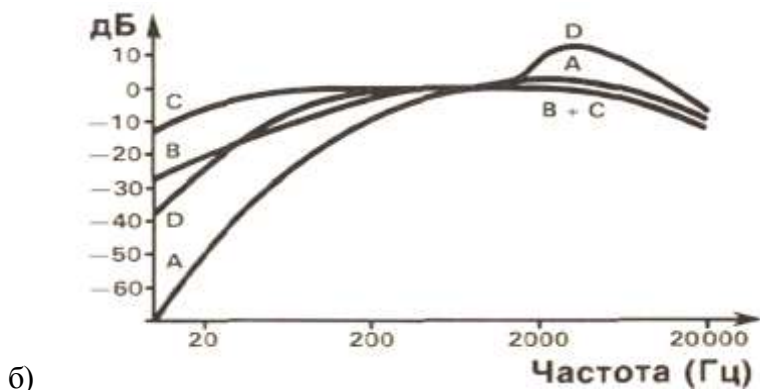
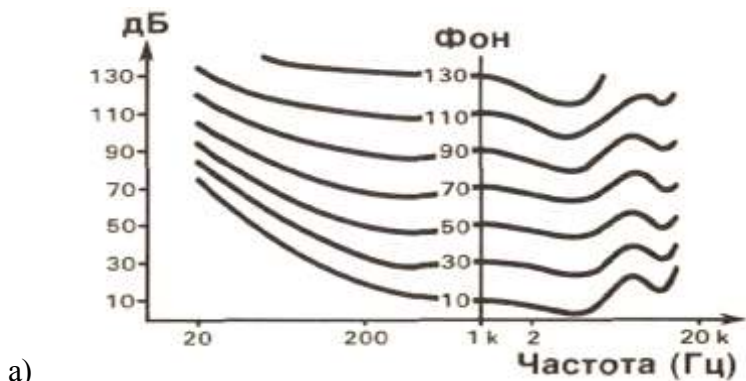


Рис. 1.11 - Схеми частотної корекції

### 1.2.9 Музичні інтервали. Гамма

Частота тону пов'язана з особливим слуховим відчуттям, яке означають як висоту тону. Якщо частота тону міняється у визначеному відношенні, то цьому відповідає відчуття приросту (чи зменшення) висоти тону на певну величину - інтервал. Так, інтервали частот, що мають відношення 2:1, відчуються як рівні, в якій би області не лежали відповідні тони; цей інтервал 2:1 носить назву *октави*. Інтервал  $3/2$  носить назву *квінта*;  $5/4$  – *велика терція*;  $6/5$  - *мала терція*;  $4/3$  – *кварта*;  $8/5$  - *мала секста*;  $6/3$  – *велика секста*;  $9/8$  – *велика секунда*,  $25/24$  – *напівтон*, або *дієз*;  $9/5$  - *мала септима*. Ряд тонів, складений з інтервалів, : 1;  $9/8$ ;  $6/5$ ;  $4/3$ ;  $3/2$ ,  $5/3$ ;  $15/8$ ; 2 носить назву *мажорної натуральної гамми*; ряд тонів 1;  $9/8$ ;  $6/5$ ;  $4/3$ ;  $3/2$ ;  $8/5$ ;  $9/5$ ; 2 називається *мінорною натуральною гаммою*. Ці послідовності тонів сприймаються вухом як однакові, на якій би висоті вони не лежали. Тони мажорної гамми носять назву: *c, d, e, f, g, a, h* або відповідно: *do (ut), re, mi, fa, so, la, si*. Чим менше цілі числа, якими виражається відношення частот тонів інтервалів, тим більше цілісно (зливо) і спокійно звучить співзвуччя таких тонів; такі інтервали носять назву *консонансів*; інтервали, які не можуть бути виражені стосунками малих цілих чисел, звучать неспокійно, шорстко і називаються *дисонансами*. У музичній практиці користуються зазвичай не чистою, а темперованою гаммою, де натуральні інтервали відтворюються лише приблизно. Темперований півтон визначається як  $1/12$  частини октави або 83,3 міліоктав, тобто тони цього інтервалу мають відношення частот

$$\sqrt[12]{2} : 1 = 1,0595.$$

Цілий темперований тон буде рівний

$$\sqrt[12]{2} : 1 = 1,122;$$

консонанси звучать в темперованій гаммі гірше, ніж в натуральній (не так чисто і зливо), оскільки відношення чисел коливань вже не відповідає точно цілим числам, наприклад, велика терція виразиться числом  $1,26$  замість  $5/4 = 1,25$ .

Мінімальна тривалість звуку, необхідна для сприйняття висоти тону, і відповідне їй число коливань звуку різні на різних висотах. При швидких трелях або перериваннях тону перерви врешті-решт перестають відчуватися вухом. Для трелі, з двох близьких тонів при частоті трелі більшої 10 разів в секунду (5 разів кожен тон), виходить злиття тонів, при такій же приблизно частоті перестають помічатися перерви звучання одного тону або шуму.

### **1.2.10 Нелінійні спотворення і комбінаційні тони**

При одночасному звучанні двох і більше сильних тонів вухо відчуває не лише ці впливаючі тони, але і цілий ряд додаткових тонів, званих комбінаційними; при звучанні поодинокого сильного тону вухо також сприймає його не в чистому вигляді, а з додаванням ряду суб'єктивних обертонів. Виникнення цих спотворень слід шукати в тому, що в ющі ми маємо справу з пружними органами, які не підкоряються закону Гуку, оскільки їх пружність неоднакова при відхиленнях в різні боки і зростає не пропорційно діючій силі. Якщо два первинні тони мають частоти  $f_1$  і  $f_2$ , то частоти комбінаційних тонів виражатимуться формулою:

$$F = nf_1 \pm mf_2,$$

де  $n$  й  $m$  – цілі числа; найбільш сильний зазвичай тон  $f_1 - f_2$  (різницевий тон першого порядку), а також іноді тон, число коливань якого  $f$  є загальним найбільшим дільником  $f_1$  і  $f_2$ , усі тони, що виражаються приведеною формулою, а також і первинні тони є гармоніками тону  $F$ . Комбінаційні тони, для яких  $n+m = 2$ , називаються тонами першого порядку; якщо

$n+m=3$ , то ми маємо тони другого порядку і т. д. У разі звучання трьох або більш за тони, числа коливань яких відносяться як ряд невеликих послідовних цілих чисел, комбінаційний тон з частотою, рівною загальному найбільшому дільникові, і його перші гармоніки утворюються надзвичайно сильно і усе співзвуччя набуває характеру складного тону з рядом обертонів. У разі виключення із складу складного звуку основних тонів, що несуть означає, долю усієї енергії, тембр звуку майже не змінюється, оскільки вухо заповнює через свої нелінійні властивості тони, яких не вистачає. З цієї причини відрізання низьких частот до 200 Гц дуже мало спотворює передачу по радіо і телефону. Нелінійні властивості вуха характеризуються в найбільш простій формі виникненням суб'єктивних обертонів. На рис. 1.12 дана сила суб'єктивних обертонів (визначена методом маскування), що виникають при дії чистого тону різної сили (на рис. 1.12 це перша гармоніка). Рівні інтенсивності відлічуються від нульового рівня.

Ці дані придатні для тонів усіх висот, оскільки сила обертонів є функцією лише сили впливаючого тону, але не його рівня відчуття. Для тонів, що лежать нижче 60 дБ, гармоніки вже не виникають. Для низьких тонів (нижче 60 Гц) навіть на порозі чутності утворюються сильні гармоніки; рівень відчуття другої гармоніки виявляється завжди вище, ніж основного тону, тобто октава починає чути раніше, ніж основний тон.

Це примушує припускати, що низькі тони взагалі не сприймаються як такі, а відчуються лише за рахунок своїх гармонік. Швидше зростання гучності низьких тонів (в порівнянні з високими) із збільшенням рівня відчуття обумовлене утворенням сильних гармонік, які збуджують велику площу основної мембрани, що дає додатковий приріст гучності.

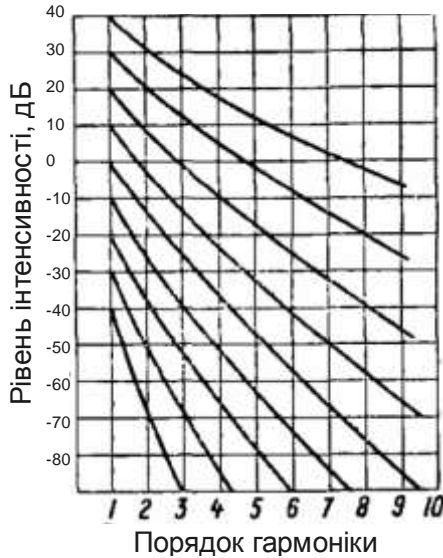


Рис. 1.12 – Обертони на різних гармоніках

### 1.2.11 Бінауральний ефект

**Бінауральний ефект** є здатність слухового апарату визначати напрям, в якому знаходиться джерело звуку. Здатність розрізняти напрям тісно пов'язана з різницею фаз між звуками, що сприймаються одним і іншим вухом. Бінауральний ефект, що викликається різницею фаз, спостерігається лише для тонів не вище 1200 Гц. Якщо позначити  $\theta$  кут зрушення від середньої площини (азимут) звукового образу для тону з частотою  $f$ , а через  $\Phi$  - різницю фаз, то для звуків однакової сили ці величини пов'язані співвідношенням:

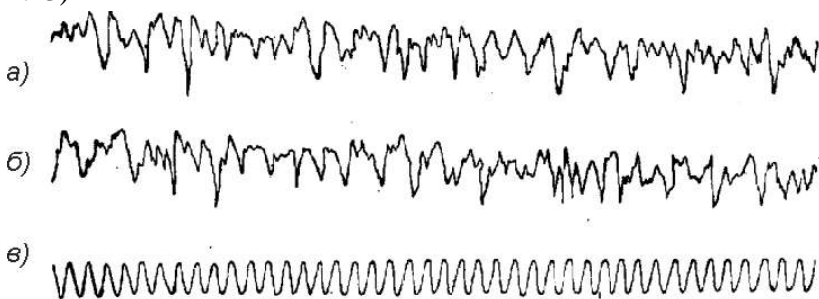
$$\theta = \Phi : (0,7 + 0,003 f),$$

коефіцієнти в цьому співвідношенні узяті середні з ряду спостережень; найменший кут зрушення, що помічається, незалежний від частоти і складає  $4-5^\circ$ . Простий перерахунок показує, що для високих тонів ( $f > 500$ ) відхилення на кут  $\theta$

приблизно пропорційно різниці часу приходу звуку до двох вух:  $\theta = 10^5 \Delta t$ , де  $\theta$  виражено в градусах, а  $\Delta t$  – в с; це співвідношення не залежить від висоти. Практичні додатки бінаурального ефекту дуже різноманітні, оскільки по суті він дає можливість виміру на слух малих проміжків часу, наприклад, можливо застосування для визначення часу спрацьовування реле, для визначення швидкості звуку. В усіх цих методах по бінауральному ефекту вимірюється не кут уявного зрушення зображення, що було б не особливе точно, а лише встановлюється наявність або відсутність мінімального зрушення від середньої площини, що набагато точніше, причому звуковий образ приводиться до середньої площини за допомогою спеціальних акустичних або електричних компенсаторів, що вводять додаткове запізнювання для звуку, що випереджає по фазі. Бінауральний ефект використовується для цілей пеленгації, тобто визначення напрямку на джерело звуку; завдання дозволяється як для підводних звуків, так і для повітря. Ці методи важливі в морській і військовій справі. Для збільшення чутливості користуються збільшенням сприймаючої бази, що дає можливість штучно збільшити точність визначення різниці часів при цьому напрямі на джерело звуку. Бінауральне почуття надзвичайно важливо для сприйняття зовнішнього світу; часткове виключення його у глухих на одне вухо вже сильно шкодить здатності орієнтуватися в просторі та розбирати мову. Відпадання бінаурального ефекту при передачі по радіо і телефону сильно знижує розбірливість мови і музичного виконання, оскільки у слухача відпадає здатність локалізувати джерела звуку в просторі по їх напрямку; судження по одній лише силі і тембру звуку часто дає оманливе враження.

### 1.2.12 Шум як небезпечний та шкідливий фактор

Під шумом розуміється комплекс численних звуків, що швидко міняються по частоті і силі, або звуків імпульсивних (удари), що не носять періодичного характеру. При сприйнятті шуму неможливо визначити на слух висоту звуку, як це можна зробити по відношенню до чистих тонів і музичних звуків. Криві звукових коливань шуму мають безладний характер (рис. 1.13)



*Рис. 1.13 - а і б - записи вуличного шуму, в - запис чистого тону 500 Гц*

Енергія звукових коливань шуму більш менш рівномірно розподілена по частоті, проте можуть бути шуми, в яких енергія зосереджена в тій або іншій обмеженій області частот; так наприклад, шум двигуна внутрішнього згорання містить по перевазі низькі частоти; навпаки, свист пари, брязкіт металу при різанні або клепці містять по перевазі високі частоти. До складу шуму часто входять строго визначені по висоті звуки, які можна виділити як методами об'єктивного аналізу, так і на необхідною передумовою для організації боротьби з ним. Джерелами шуму є по перевазі різні машини.

З практичної точки зору шумом часто називають всякий звук, що заважає; так, звук змінного струму (частота 50 Hz) при телефонній і радіопередачі вважатиметься шумом.

Вивчення шуму йде нині з двох точок зору. З одного боку, у



наш час шум в містах і промислових підприємствах стає настільки сильним, що згубно впливає на нервову систему і орган слуху.

З іншого боку, вивчення шуму, що виникає під час роботи машин, являється прекрасним способом для визначення дефектів конструкції і для знаходження шляхів до усунення цих дефектів.

Крім того, для раціонального влаштування апаратів, реєструючих і уловлюючих шум, потрібне точне знання структури шуму. Наступні шуми представляють найбільший практичний інтерес:

- 1) вуличний шум у великих містах;
- 2) шум на заводах і підприємствах, зокрема шум на металообробних, машинобудівних і інших заводах, на текстильних фабриках, шум великої кількості людей в процесі організованих масових заходів;
- 3) шум на транспорті (залізничному, водному і повітрі);
- 4) шум машин певного типу (турбін, електродвигунів, генераторів, двигунів внутрішнього згорання);
- 5) шуми, вироблювані пострілами і вибухами.

Дослідження шуму може вестися, з одного боку, з метою з'ясування об'єктивними фізичними методами сили шуму, кривої звукових коливань, розподілу енергії звуку по частоті і виділення звуків певної висоти, що входять до складу шуму, а з, іншого боку, для визначення величини дії шуму на орган слуху і психіку людини.

**Дослідження шуму фізичними методами.** Вимір сили шуму виконується звичайними способами звукотехніки, наприклад конденсаторним мікрофоном в з'єднанні з підсилювачем і вольтметром.

Шуми, що дають більш  $10^2$  Па звукового тиску, є

хворобливими для вуха і викликають голово кружляння і нудоту. Запис шуму може бути здійснений усіма звичайними методами звукозапису.

Аналіз кривої шуму в цілях виділення тих звуків, що входять до складу його, з математичної сторони представляє великі труднощі, оскільки розкладання в ряд Фур'є можливо лише для періодичних кривих. Існує ряд методів аналізу неперіодичних кривих, але вони надзвичайно складні і практично важко прикладені. Найбільш простий (але недостатньо строгий) спосіб полягає в тому, що довільний відрізок кривої береться умовно за період і аналізується звичайними методами розкладання в ряд Фур'є.

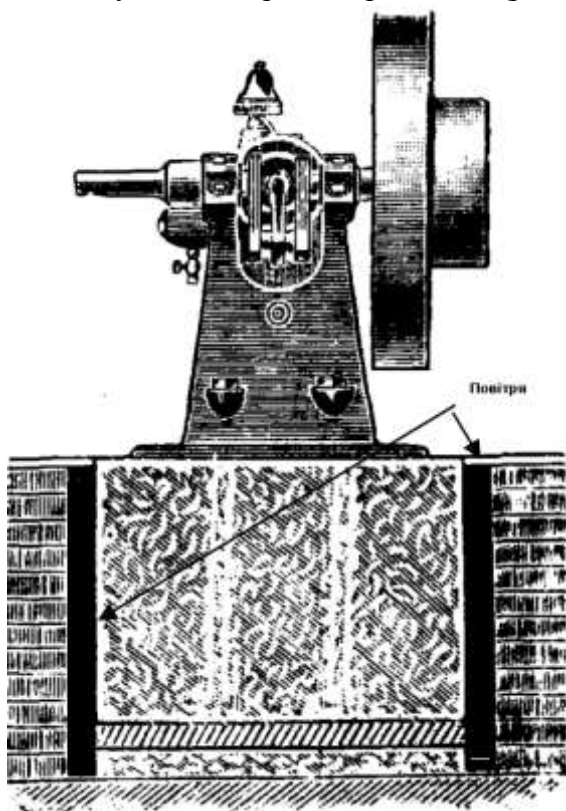
### **1.2.13 Шкідливість шуму**

Шкідливий вплив шуму полягає, по-перше, в його дії, що заважає, для проведення якихось технологічних операцій при роботі. Шуми утрудняють розуміння мови і звукових сигналів, що веде до помилок і аварій. Але найбільш суттєвою є дія шуму на нервову систему і орган слуху. Встановлено дослідженнями, що сильний шум викликає підвищення кров'яного тиску і тиску в мозку, порушення регулярності і судорожний характер скорочень шлунку. При сильному шумі нервова система знаходиться в напруженому стані, людина переживає стан, близький до стану інстинктивного страху, що згубно діє на нервову систему, тим паче, що в великих містах шум не припиняється і вночі і сприймається людиною уві сні.

Вплив шуму на орган слуху у робочих шумних виробництвах позначається дуже сильно. Як показали спеціальні дослідження, поступово прогресуюче послаблення слуху спостерігається у осіб, схильних до дії шуму, що перевищує встановлені норми

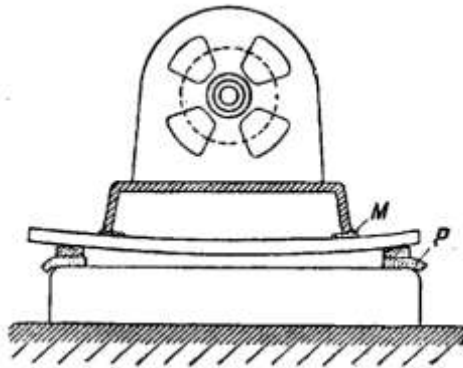
**Послаблення шуму** може бути вироблене за допомогою зменшення струсів і вібрацій машин, що чинять шум. Підхід

кожного завдання різний в кожному даному випадку. Наприклад, в цехах випробування двигунів внутрішнього згорання доцільно влаштовувати велику заглушену камеру, в яку виводяться усі вихлопні труби двигунів і в якій обертаються усі пропелери. Сильно шумлячі машини встановлюються на спеціальні фундаменти з еластичного матеріалу, відокремлені від інших частин будівлі повітряним проміжком (рис. 1.14)



*Рис. 1.14 – Встановлення механізму на спеціальний фундамент задля зменшення шуму*

Електродвигуни встановлюються на еластичних підкладках (рис. 1.15), що сильно ослабляють шум.



*Рис. 1.15 – Встановлення електричного двигуна*

Дуже істотне значення має конструкція будівлі - так, в залізобетонних будовах звук передається з одного приміщення в інше дуже сильно, в цегляних звукоізоляція значно краща. Значну допомогу може надати закриття стін, підлоги і стелі звукопоглинальними речовинами. Закривання вікон дає велике послаблення шуму.

Шум різко слабшає у високих поверхах, що знаходяться вище за рівень навколишніх будинків. Велике значення мають способи послаблення шуму різних транспортних засобів (літаків, автомобілів, залізничних потягів, трамваїв).

Питання про боротьбу з шумом встає в усю ширину у зв'язку з будівництвом великих міст і гігантських заводів. Боротьба з шумом повинна вестися передусім по лінії конструктивних удосконалень, в цілях послаблення шуму, що видається різними машинами; дуже істотну роль грають також заходи щодо лінії будівельної акустики. Дуже істотну роль грають заходи щодо лінії законодавчої і адміністративної заборони і регулювання.

## **Частина 2. ТЕОРЕТИЧНА БАЗА ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1 Джерела шуму і шумове тло в місті**

При дослідженні шумового режиму різних об'єктів міського господарства, де людина піддається впливу шуму, при дослідженні шляхів оптимізації акустичних умов на міських територіях, при розробці шумозахисних заходів, визначенні їхньої ефективності й ін. надто важливо мати інформацію про кількісні і якісні характеристики акустичних процесів, які відбуваються при цьому. Забігаючи вперед, слід казати, що така інформація у ході наших досліджень була нами отримана (про що й буде розповідатися далі). Але передбачаючи подальшу розповідь, треба зазначити головні закономірності процесів розповсюдження шумів на території міської забудови хоча б самому загальному вигляді.

В будь-якому випадку, численні джерела міського шуму розкидані по території міста, у результаті чого в ньому практично завжди відчувається так зване «акустичне тло» [8]. По даним вимірів, фоновий рівень звуку в сучасному місті становить 35-45 дБА навіть уночі (усередині житлових груп мікрорайонів, у замкнутому контурі забудови, у точці, максимально віддаленій від транспортних магістралей при відсутності видимих джерел шуму й т.п.)[9]. Внаслідок цього, наприклад, добре відомі й широко застосовувані найчастіше залежності спаду рівнів на 3 дБ при подвійному віддаленні від лінійного джерела й на 6 дБ - від точкового (вони чомусь уперто кочують із книжки в книжку), м'яко говорячи, мають обмежену область застосування. Ми не заперечуємо зазначені вище залежності, ми просто застерігаємо від їх необдуманого повсюдного застосування, що носить у руках «теоретиків від акустики» формальний характер; а в наших роботах [10, 11] саме й визначаємо їм належне місце

(спад рівнів залежно від відстані має місце тільки до влучення в зону фонового шуму. Далі відстань від джерела збільшується, але рівні не зменшуються – і це є шумове тло).

Отримані дані в результаті наступного аналізу можуть бути узагальнені і на їх базі можуть бути виявлені деякі загальні закономірності.

У ряду джерел, присвячених математичному моделюванню процесів поширення звуку, зустрічаються формули (наприклад, с. 19 [21]), що говорять про те, що зниження шуму складає :

- 6 дБ при подвоєнні відстані від точкового джерела:

$$L = L_0 - 20\lg(R/R_0); \quad (2.1)$$

- 3 дБ при подвоєнні від лінійного:

$$L = L_0 - 10\lg(R/R_0). \quad (2.2)$$

Цифри 6 і 3 дБ утворюються як результати обчислення  $2R_0/R_0$  за формулами (2.1) и (2.2) (оскільки  $R=2R_0$ )

Тут  $L$  - шуканий рівень звукового тиску, дБ на відстані  $R$ , м від джерела з відомим (заданим) рівнем  $L_0$ , дБ на відстані  $R_0$ , м.

Але математична модель (формули (2.1) та (2.2)) в жодному разі не відбиває дійсної закономірності спаду рівнів залежно від відстані. Математична модель же авторської розробки, як буде показано далі, [11] базована на вивченні форми й площі фронту, значно ближче до реальності, і прекрасно погоджується з даними натурних вимірів.

Ізолінії, що характеризують зменшення рівня звуку / звукового тиску від джерела, поступово з'єднуються з ізолініями фонового шуму, а зони із збільшеними рівнями подалі від джерела розпливаються посеред зон рівнів фонового шуму. В своєму образному вигляді це візуально виглядає, (на наш погляд), наприклад, як відображення рельєфу на географічній карті - де точкові значення рівнів звуку від точкових джерел

еквівалентні висотам гірських піків, лінійні джерела звуку нагадують висоти гірських хребтів, ізолінії однакових рівнів звуку адекватні горизонталям на карті, а ось зони фонового шуму відповідають позначкам висоти над рівнем моря у лощинах, балках чи ярах.

## **2.2 Нормування шуму на території населених пунктів та на робочих місцях промислових підприємств**

В Україні й Росії діють різні нормативні документи відносно шуму на міських територіях. Сам по собі підхід до нормування однаковий (і виходить із радянських СНиП II-12-77 [12] і ГОСТ 12.1.003-83\* [13]). Однак у Росії діє новий нормативний документ СНиП 23-03-2003 [14]; в Україні по колишньому діють згадані [12] й [13], доповнені українськими ДСН 3.3.6.037-99 [15] (але «державні санітарні норми» [15] нормують виробничий шум і для території міста підходять лише почасти).

У кожному разі, нормуванню підлягають ті самі параметри - рівень звуку, дБА, і рівні звукового тиску в октавних смугах частот (а також еквівалентні рівні). Розрізняються чисельні значення даних рівнів, притім досить незначно. Норми СНиП II-12-77 [12] трохи складніше в застосуванні, ніж норми СНиП 23-03-2003 [14] за рахунок виправлень на час доби, місце розташування об'єкта й ін.

Нормованими параметрами постійного шуму в розрахункових точках за [12] слід рахувати рівні звукового тиску  $L$  в дБ в октавних смугах частот із середньгеометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 Гц; шуму, що коливається в часі - еквівалентні (по енергії) рівні звуку  $L_{A\text{ экв}}$  у дБА; переривчастого і імпульсного шуму - слід рахувати еквівалентні (по енергії) рівні звукового тиску у дБ в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами 63, 125, 250, 500, 1000,

2000, 4000 і 8000 Гц.

Допустимі рівні звукового тиску (еквівалентні рівні звукового тиску) в дБ в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку в дБА для житлових і громадських будівель і їх території слід приймати відповідно до таблиці 1 [12], з поправками до них відповідно до таблиці 2.1 [12].

*Таблиця 2.1 - Нормативні значення рівнів звуку й звукового тиску для житлових і громадських будівель і їх території (Таблиця 1 [12])*

№ з/п	Рівні звукового тиску $L$ (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{\text{екв}}$ ) у дБ в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами в Гц								Рівні звуку $L_A$ й еквівалентні рівні $L_{\text{Аекв}}$
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	в дБА
1.	51	39	31	24	20	17	14	13	25
2.	55	44	35	29	25	22	20	18	30
3.	59	48	40	34	30	27	25	23	35
4.	59	48	40	34	30	27	25	23	35
5.	67	57	49	44	40	37	35	33	45
6.	63	52	45	39	35	32	30	28	40
7.	71	61	54	49	45	42	40	38	50
8.	75	66	59	54	50	47	45	43	55
9.	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Пояснення до табл. 2.1

1. Палати лікарень і санаторіїв, операційні лікарень
2. Житлові кімнати квартир, житла будинків відпочинку і пансіонатів, спальні приміщення в дитячих дошкільних установах і школах - інтернатах
3. Кабінети лікарів лікарень, санаторіїв, поліклінік, зали для глядачів концертних залів, номери готелів, житлові кімнати в гуртожитках
4. Території лікарень, санаторіїв, безпосередньо прилеглі до будівлі
5. Території, безпосередньо прилеглі до житлових будинків (у 2 м від конструкцій, що огорожують), майданчики відпочинку мікрорайонів і груп житлових будинків, майданчики дитячих дошкільних установ, ділянки шкіл
6. Класні приміщення, учбові кабінети, аудиторії шкіл і інших учбових



закладів, конференц-зали, читальні зали, зали для глядачів театрів, клубів, кінотеатрів, зали судових засідань і нарад

7. Робочі приміщення управління, робочі приміщення конструкторських, проектних організацій і науково-дослідних інститутів
8. Зали кафе, ресторанів, їдалень, фойє театрів і кінотеатрів
9. Торговельні зали магазинів, спортивні зали, пасажирські зали аерофлотів і вокзалів, приймальні пункти підприємств громадського обслуговування

Примітки [12]:

1. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот в дБ, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку в дБА для шуму, що створюється системами кондиціювання повітря, повітряного опалювання і вентиляції, в приміщеннях і на територіях, прилеглих до будівель, слід приймати на 5 дБ нижче (поправка  $\Delta_n = -5$  дБ) вказаних в таблиці 1.1 або фактичних рівнів шуму в приміщеннях в робочий час, якщо останні не перевищують значень, вказаних в справжній таблиці (поправку для тонального шуму по таблиці 2 в цьому випадку приймати не слід).
2. Еквівалентні рівні звуку в дБА для шуму, створюваного засобами транспорту (автомобільного, залізничного, повітря) в 2 м від конструкцій будівель, обернених у бік джерел шуму, що огорожують, допускається приймати на 10 дБА вище (поправка  $\Delta_n = +10$  дБА) рівнів звуку, вказаних в поз. 5 таблиці 2.1.

*Таблиця 2.2 – Поправки до нормативних рівнів (Таблиця 2 [12])*

Впливаючий чинник	Умови	Поправка в дБ або дБА
Характер шуму	Широкопasmовий шум	0
	Тональний або імпульсний шум	-5
Місце розташування об'єкту	Курортний район	-5
	Новий проєктований міський житловий район	0
	Житлова забудова, що розташована у існуючій забудові (що склалася)	+5
Час доби	День –с 7 до 23 годин	+10
	Ніч –с 23 до 7 годин	0

Примітки [12]:

1. Поправки на час доби вносяться при визначенні допустимих рівнів звукового тиску і рівнів звуку для житлових кімнат квартир, спальних приміщень будинків відпочинку і пансіонатів, спальних приміщень в дитячих дошкільних установах і школах-інтернатах, палат лікарень і спальних кім-

нат санаторіїв, житлових кімнат гуртожитків, номерів готелів, для територій, безпосередньо прилеглих до житлових будинків, територій лікарень, санаторіїв, безпосередньо прилеглих до будівель.

2. Поправки на місце розташування об'єкту слід враховувати тільки для зовнішніх джерел шуму при визначенні допустимих рівнів звукового тиску і рівнів звуку для житлових кімнат квартир, спальних приміщень будинків відпочинку і пансіонатів, спальних приміщень в дитячих дошкільних установах і школах-інтернатах, палат лікарень і спальних кімнат санаторіїв, житлових кімнат гуртожитків, номерів готелів.
3. Поправку на місце розташування об'єкту не слід застосовувати для будівель, що знову будуються, в існуючій забудові (що склалася).

У загальному випадку, з урахуванням виправлень на час проведення вимірів, місце розташування об'єкта й ін., рівень звуку на території міста не повинен перевищувати значення 45-65 дБА (варіюється для різних умов), а рівні звукового тиску в октавних смугах частот - не повинен виходити за межі відповідних нормативних спектрів.

На робочих місцях промислових підприємств згідно з ГОСТ 12.1.003-83 шум характеризують рівні звукового тиску в октавних середньгеометричних смугах частот: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 та 8000 Гц. Для орієнтовної оцінки допускається брати рівні звуку за шкалою А (у дБА).

Згідно з гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 528 від 27.12.01 [16], надається визначення класу умов праці в залежності від рівнів шуму та перевищення граничнодопустимих рівнів (ГДР) ультразвуку та інфразвуку. При тому рівні, що менше та дорівнюють ГДР, визначають допустимий клас умов праці; рівні звуку 85-115 дБА - шкідливий клас умов праці; рівні звуку > 115 дБА - небезпечний.

Нейросенсорна приглухуватість (код Н903 згідно з

Міжнародною статистичною класифікацією хвороб та споріднених проблем МКХ-10) під систематичним впливом виробничого шуму входить в Перелік професійних захворювань, затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 1662 від 8.11.2000 р. [16].

Характеристика непостійного шуму на робочих місцях — еквівалентний рівень звуку. На рис. 2.1 надано нормативні рівні звукового тиску та рівні звуку на постійних робочих місцях («Санітарні норми виробничого звуку, ультразвуку та інфразвуку» ДСН 3.3.6.037-99) у графічному вигляді (тобто спектри).

Виявлено, що вплив шуму збільшується із збільшенням рівнів шуму; із збільшенням частоти шуму (тобто високо-частотний шум більш неприємний, ніж низькочастотний (що стверджується також санітарним нормуванням [17, 18, 19, 20])), а також із звуженням ширини смуги частот, на якій знаходиться максимум енергії, що випромінюється.

*Таблиця 2.3 - Нормативні спектри шуму (рівні звуку та звукового тиску згідно ДСН 3.3.6.037-99 для різних видів діяльності)*

№ п/п	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, дБА, дБА <sub>екв.</sub>
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2.	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3.	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4.	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5.	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Пояснення до табл. 2.3

1. Творча діяльність, керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування, викладання

та навчання, лікарська діяльність; робочі місця у приміщеннях – дирекції, проектно-конструкторських бюро, розрахувачів, програмістів обчислювальних машин, у лабораторіях для теоретичних робіт та обробки даних, прийому хворих у медпунктах (рівень звукового тиску, дБ); 1А. Те ж, рівень звуку в дБА (=50 дБА).

2. Висококваліфікована робота, що вимагає зосередження, адміністративно-керівна діяльність, вимірювальні та аналітичні роботи у лабораторії; робочі місця в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій; 2А. Те ж, рівень звуку в дБА (= 60 дБА).
3. Робота, що виконується з вказівками та акустичними сигналами, які часто надходять; робота, що потребує постійного слухового контролю, операторська робота за точним графіком з інструкцією, диспетчерська робота: робочі місця у приміщеннях диспетчерської служби, кабінетах та приміщеннях спостереження та дистанційного керування з мовним зв'язком по телефону, друкарських бюро, на дільницях точного складання, на телефонних та телеграфних станціях, у приміщеннях майстрів, у залах обробки інформації на обчислювальних машинах без дисплея та у приміщеннях операторів акустиків; 3А. Те ж, рівень звуку в дБА (=65 дБА).
4. Робота, що вимагає зосередження, робота з підвищеними вимогами до процесів спостереження та дистанційного керування виробничими циклами: робочі місця за пультами у кабінетах нагляду та дистанційного керування без мовного зв'язку по телефону; у приміщеннях лабораторій з шумовим устаткуванням, шумними агрегатами обчислювальних машин. 4А. Те ж, рівень звуку в дБА (= 75 дБА).
5. Виконання всіх видів робіт (крім перелічених у пп. 1-4 та аналогічних їм) на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та території підприємств. 5А. Те ж, рівень звуку в дБА (= 80 дБА).

Норми враховують біологічну небезпеку тонального та імпульсного шуму, а також категорію фізичного напруження (важкості праці) завдяки введенню відповідних поправок.

### **2.3 Необхідність у створенні карт шуму**

Величина шумового забруднення, розподіленого по території міста, значно коливається від точки до точки. Вона залежить від пори року, від близькості й кількості джерел шуму й ін. Одне

з головних завдань, які виникають перед містобудівниками в проектній практиці полягає в тім, щоб передбачити зони впливу майбутніх джерел шуму, передбачати шумовий режим житлової забудови й реалізувати конкретні рішення в цій області.

Для того, щоб боротися із шумом у містобудуванні, планувати й здійснювати які-небудь шумозахисні заходи, необхідно мати картину його поширення в міській забудові. Таким чином, виникає необхідність у картографуванні шумового режиму. Щоб максимально використати на цій стадії можливі заходи щодо шумозахисту, необхідна карта (схема) основних джерел міського шуму, виконана в масштабі генерального плану міста. Вона є основою для регулювання шумового режиму в зоні селитьби міста, основою для розробки комплексних містобудівних заходів щодо захисту житлової забудови від шуму.

У сучасних містах одним з основних і найбільш істотних джерел шуму є транспорт, що рухається по вулицях [12, п. 5.3]. Отже, у першу чергу, карти шуму повинні бути прив'язані до транспортних магістралей. Згідно [22]: *«...Карты шума улично-дорожной сети составляют на текущий период, расчётные и перспективные сроки и должны входить в состав проектной документации при разработке технико-экономических основ развития города, генерального плана города, проектов детальной планировки его районов и схем санитарно-гигиенической оценки существующего и прогнозируемого состояния окружающей среды. Карта шума улично-дорожной сети представляет собой схематический план улиц и дорог с нанесенной на него в условных обозначениях шумовой характеристикой транспортных потоков. ... Карты шума служат основой для оценки существующего и прогнозируемого шумового режима на улицах и дорогах и примагистральных*

*территориях города, а также для разработки организационно-административных, архитектурно - планировочных и строительно - акустических мероприятий по снижению транспортного шума. Карты шума позволяют определить неблагоприятные в отношении шумового режима участки, осуществлять выбор наиболее целесообразных, эффективных и экономических средств снижения транспортного шума, устанавливать рациональные с точки зрения защиты от шума варианты размещения жилых зданий, общественных зданий с повышенными требованиями к акустическому комфорту, а также зон отдыха на при- магистральных территориях города. Карты шума разрабатываются в соответствии с заданием главного архитектора города и должны согласовываться органами санитарного надзора и утверждаться горисполкомами...»*

## **2.4 Складові частини й побудова карти шуму міста**

По-перше, розглянемо таке питання, що ж таке карта шуму? Згідно роботі [23]: *«Карта шуму - графічне зображення картини розподілу шуму на території. Точки з однаковими значеннями рівня звуку (або рівнів звукового тиску в певних смугах частот) з'єднують між собою ізолініями. Області простору з однаковими рівнями шумового забруднення, як правило, заливують однаковими кольорами. Карта шуму дає наочне подання про шумовий режим досліджуваної території».*

Згідно роботі [24]: *«Карта шуму міста - це великий розділ генерального плану, що фіксує сучасний або майбутній стан шумового режиму в місті».*

Розробку схеми розташування джерел шуму міста починають зі збору відомостей, які дозволяють характеристику

джерел шуму в місті, виявлення «полюсів» шуму. Вони повинні включати матеріали, зазначені в [25, с. 54-55].

Як у свій час указувалося в [22]: *«Карту шума на текущий период следует разрабатывать на основе данных натурных измерений. ... Перед проведением измерений следует составить программу работ, в которой должны быть намечены объекты, места, точки и время проведения измерений.»*

Надалі застосовується механізм математичного моделювання [22]: *«Карты шума улично-дорожной сети города на расчетные и перспективные сроки разрабатываются расчетными методами...»*

*...Карту шума на стадии генерального плана рекомендуется составлять на копии основного чертежа генерального плана города, на которой должны быть нанесены следующие данные: трассировка улично-дорожной сети, транспортные узлы, характеристика движения и состава транспортных потоков (интенсивность движения в обоих направлениях, доля числа грузовых и общественных транспортных средств в общем числе транспортных средств в потоке, средняя скорость движения) на каждом участке улиц и дорог в часы пик средних суток недели летнего периода года, значения продольных уклонов проезжей части на каждом участке улиц и дорог, границы функциональных зон, районов и территорий города.*

*Характеристики движения и состава транспортных потоков следует определять по картограммам автомобильных потоков, а значение продольных уклонов проезжей части улиц и дорог на основании плана красных линий...»*

Отримані дані, які характеризують основні джерела міста, дозволяють скласти карту джерел міського шуму. На карту наносять в умовних позначках основні джерела й указують їхні

еквівалентні рівні шуму в дБА [26].

У цей час це робиться приблизно так само (у змістовному плані), однак рутинна робота з паперовими копіями документів уже не виробляється. На зміну застарілим технологіям прийшли нові, засновані на використанні засобів і методів ГІС [27].

Як у свій час було написано в [24]: *«Безусловно, разработка карты шума города — процесс творческий. Поэтому со временем обязательно возникают дополнения, изменения, направленные на улучшение и оптимизацию этого процесса, на достижение наибольшего эффекта в защите жилой застройки от городского шума.»*

Таким чином, [22] явним чином наказує будувати карти шуму на базі розрахунків транспортних потоків. Кінцевим підсумком такого підходу, як правило, являється неспівпадання прогнозованих результатів з реальними.

Проте, цей шлях побудови карт шуму має цілий ряд недоліків. Це особливо добре помічено в [21]. Оскільки отримати аналітичне рішення формування характеристик транспортного шуму не вдається у вигляді єдиного рівняння для усіх характеристик транспортного потоку і дорожніх умов, а спрощення завдання призводить до неприпустимо грубих результатів, від аналітичного дослідження кількісних характеристик формування транспортного шуму доводиться відмовлятися і переходити до інших способів використання математичної моделі.

При побудові імітаційної моделі формування транспортного шуму модель має бути як можна гнучкішою, і без значних додаткових змін добре описувати будь-які дорожні умови (продовження дороги в плані і подовжньому профілі, зміна типу дорожнього покриття і характеру поширення шуму), а також відповідати основним закономірностям руху транспортних



потоків (розподіл автомобілів по смугах руху), функції розподілу інтервалів і швидкостей руху автомобілів.

В роботі [28] пропонуємо принципово нову методику прогнозування шумового режиму, засновану на обліку просторової форми створюваних їм хвилевих фронтів. Ця методика базується на нашому власному винаході [11] та його експериментальній перевірці [29]. Докладніше про це можна прочитати в нашій монографії [23]

## **2.5 Завдання розміщення точок вимірювання рівнів шуму на місцевості**

Багато авторів у своїх роботах явним або неявним образом протиставляють моделювання натурному експерименту. Вони пропонують найчастіше досить витончені математичні описи натурних процесів, на базі чого намагаються вгадати поведінку системи при дуже скромному наборі вихідних даних. У результаті виходить значна розбіжність між результатами моделювання й натурним експериментом: припускаємо одне, маємо в реальності - зовсім інше [10, 30].

Зовсім інше подання вкладає автор у поняття "моделювання" [32]. Роль моделювання, на його думку, повинна зводитися до розширення, доповнення, інтерполяції даних натурального експерименту. Пояснимо це на наступному прикладі. Так, у цей момент часу ми перебуваємо в якій-небудь кімнаті (приміщенні). Щоб, наприклад, вивчити шумовий режим у ній, необхідно виміряти рівень звуку за допомогою шумоміра. Припустимо, що у вас є шумомір, ви умієте працювати з ним, маєте ресурси сил, часу, і так далі. Завдання, таким чином, зводиться лише до призначення певної кількості точок виміру. Скільки їх має бути? Шукаючи відповідь в нормативних документах, знаходимо лише вказівку не "менше" - щоб уникнути можливої недостовірності штучно обмежується

нижня межа. Верхня межа не лімітується: ("чим більше точок виміру - тим краще") Допустимо, що ми, проте, не сильно обмежені в ресурсах сил, часу і тому подібне, і прагнемо виконати доручену роботу як можна якісніше, побудувати карту шуму як можна деталізованіше, і тому подібне. Ми розбиваємо досліджуваний простір сіткою квадратів і починаємо проводити дискретні виміри в точці перетину цих умоглядних ліній. При спробі більшої деталізації, проте, ми вимушені зменшувати крок сітки, призначаючи контрольні точки, наприклад, в два рази ближче один до одного, - (чому їх кількість зростає в квадратичній залежності). Чим більше точок, - тим вище якість і достовірність! - але все таки коли-небудь наступить межа?

Ця проблема вдало вирішена в нашій попередній монографії [32]. Резюмуючи її зміст, слід сказати, що проведені дослідження дозволяють висунути чіткі критерії щодо оптимізації кількості контрольних точок при натурних вимірах звукового поля. Розв'язання цього завдання має велике значення для прикладної акустики [32].

У випадку, коли ми не маємо достатньої інформації про шумове забруднення і не можемо спрогнозувати приблизну картину такого акустичного забруднення, має сенс визначати місця замірів на території чи у просторі рівномірно. Рівномірний розподіл фіксованого числа точок по певній області пропонуємо здійснювати однією із двох процедур. Змістовно першого випадку оптимальні точки вимірювання розташовуються так, що вони мінімізують найбільшу дистанцію між довільною точкою області та довільною точкою вимірювання. У другому випадку оптимальні точки розташовуються щільніше у тих частинах області, де є найбільші коливання прогнозованого забруднення, і рідше, де це забруднення стає.

## 2.6 Ідеї автора в їх математичному поданні

В роботі [33] вказується, що численні роботи, в яких фігурує поняття системи насправді присвячені математичному моделюванню тих або інших сторін реального світу; слово ж "система" і є просто зручний мовний зворот для позначення модельованого об'єкту. Тому доречно говорити не про теорію систем, а просто про математичне моделювання. *«Методологія такого моделювання не нова і досить добре відома. Це - сама математика з її багатовіковим досвідом»* [32].

Нами [32, 34] свого часу була запропонована методика моделювання процесів поширення шуму, заснована на обчисленні співвідношення площ хвилевих фронтів від одного і того ж джерела, вичислених на різній відстані від нього. Показано [28], що за певних умов наші формули видозмінюються в звичні залежності спаду звукової енергії залежно від відстані: в формулу квадратичної залежності спаду інтенсивності від точкового джерела (6 дБ при подвоєнні відстані) і спад інтенсивності пропорційно відстані від лінійного джерела (3 дБ при подвоєнні відстані). Для того, щоб охарактеризувати хвилевий фронт, треба згадати, що це - безліч точок поверхні, що знаходяться в один і той же момент часу в однакових фазах. Один вимір в одній контрольній точці "змальовує" всього одну з вищезгаданої "безлічі точок поверхні"; щоб вималювати увесь фронт в усій його тривимірній об'ємно-просторовій структурі, необхідно виробити виміри в кожній з точок цієї великої "кількості". Це, як ми розуміємо, принципово неможливо, бо вимагає  $10^n$  міри контрольних точок, де  $n$  - само по собі астрономічне число. Але це і не треба: бо, якщо ми можемо охарактеризувати хвилевий фронт по декількох контрольних точках, що знаходяться на його поверхні (за даними безпосередніх натурних вимірів), а інші добудувати шляхом

математичного моделювання, - ось вона і є в цьому уся, наша математична модель!

Наша методика математичного моделювання [11, 23, 28, 29, 32] не є протиставлення результатів натурних вимірів, немає - ми розглядаємо її саме як доповнення до результатів натурних досліджень.

Запропоновано спосіб визначення інтенсивності випромінювання в контрольній точці, розташованій на необхідній відстані  $R$ , м від джерела [11], який включає визначення вихідного значення інтенсивності  $I_0$ , Вт/м<sup>2</sup> у точці, розташованій на первісно заданій відстані  $R_0$ , м від того ж джерела, при тому обчислюють площі хвильових фронтів  $S$ , м<sup>2</sup> на необхідній відстані  $R$ , м від джерела й  $S_0$ , м<sup>2</sup> на спочатку заданій відстані  $R_0$ , м від того ж джерела, і визначають шукану інтенсивність  $I$ , Вт/м<sup>2</sup> залежно від співвідношення площ хвильових фронтів:

$$I = I_0 S_0 / S, \text{ Вт/м}^2.$$

Поставлені завдання досягаються тим, що переходять від абсолютних значень інтенсивності Вт/м<sup>2</sup> до відносних логарифмічних рівнів, і, наприклад, визначають рівень інтенсивності звуку  $L$ , дБ залежно від співвідношення площ хвильових фронтів:

$$L = L_0 - 10 \lg(S/S_0), \text{ дБ}.$$

Ключовим моментом у математичному моделюванні процесів поширення звуку, відповідно до подань автора, є форма фронту звукової хвилі. Дійсно, інтенсивність звуку Вт/м<sup>2</sup> у будь-якій точці простору являє собою відношення звукової потужності  $P$ , Вт, до площі фронту звукової хвилі  $S$ , м<sup>2</sup>. При спробі опису цієї ж самої хвилі, випромененої тим же самим джерелом, при поширенні її в будь-якому місці простору з різними просторовими координатами, дійдемо висновку, що в міру видалення потужність (чисельна кількість Вт) не міняється

(закон збереження енергії), однак же змінюється площа фронту. У міру віддалення від джерела поверхня фронту безперестану збільшується, і звукова енергія розподіляється по все більшій, і більшій площі. Кількість ват залишається незмінною, міняється лише значення  $m^2$ .

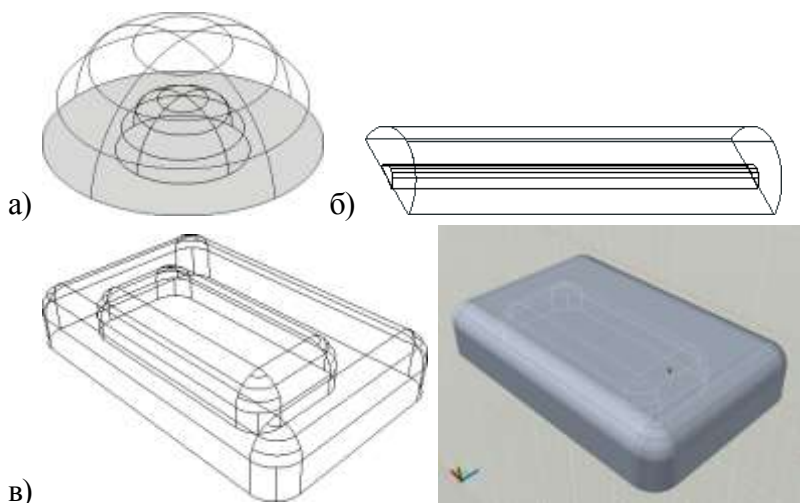
Наявність рельєфу місцевості, екранів, які локально перепиняють шлях частини поверхні фронту, і багато чого іншого (наприклад, каустики хвильових фронтів) сильно видозмінює форму хвильового фронту, який віддалився від джерела на деяку відстань  $R$ , у порівнянні з первісною формою. Таким чином, варто помітити, що вихідний і кінцевий фронти, по-перше, *не являють собою кожний окремо "ідеальну" симетричну фігуру*; а по-друге, *вони ще й геометрично не подібні один одному*. У третє, якщо мова йде про джерела, що рухаються в просторі: (наприклад, автомобілі на автостраді, кожний з яких згідно [21] при малій інтенсивності руху може розглядатися як самостійне точкове джерело шуму), центри цих фігур (що описують форму хвильових фронтів) не збігаються між собою.

Відповідно до запропонованому нами способу, обидві площі фронтів  $S$  й  $S_0$  обчислюються окремо; і обчислюються вони як площі двох неконгруентних геометричних фігур. При цьому форма вихідного фронту із площею  $S_0$  може бути не якоюсь ідеальною фігурою типу півсфери, напівциліндра, і може не повторювати реальну конфігурацію поверхні джерела якої би те не було складної форми. Форма кінцевого фронту ще більш складна, і не повторює форму вихідного фронту, оскільки виходить із неї з урахуванням неминучих змін, що накладають середовищем поширення хвилі (різні швидкості поширення в різних напрямках, перешкоди й т.п.)

Наші роботи [28, 34, 35, 37, 36, 38] розглядають конкретні форми хвильових фронтів на відстані  $R$  від джерела: (від джерел

точкових; лінійних; плоских; просторових у формі прямокутного паралелепіпеду), зводячи їх до форми фронту від просторового джерела у формі прямокутного паралелепіпеду розмірами  $A \times B \times C$ , м: (інші три види, відповідно до наших подань, є виродженими формами):

- Точкове джерело ( $A \rightarrow 0, B \rightarrow 0, C \rightarrow 0, R = \text{var}$ ) – рис. 2.0.а;
- Лінійне джерело ( $B \rightarrow 0, C \rightarrow 0, R = \text{var}, A = \text{var}$ ) – рис. 2.0.б;
- Плоске джерело ( $C \rightarrow 0, A = \text{var}, B = \text{var}, R = \text{var}$ ) – рис. 2.0.в.



*Рис. 2.1 - Форми початкового та шуканого хвильових фронтів у півпросторі від основних типів джерел шуму: від точкового (а), лінійного (б) і просторового (в) джерел. Узято з екрану комп'ютера при справжньому моделюванні акустичних процесів вже після реальних обчислень та побудови фронтів відповідних форм на двох відстанях від джерела.*

Математичний опис площ хвильових фронтів ґрунтується на поданні про те, що збурювання поширюється в просторі з так називаною швидкістю поширення. На прикладі звукової хвилі (і впливу на неї, наприклад, атмосферних явищ у вигляді вітру) було показано, що в різних напрямках швидкість поширення

хвилі (у цьому випадку швидкість звуку в незбуреному середовищі  $\pm$  швидкість вітру) може виявитися різною. У результаті форма фронту спотворюється, відхиляючись від "ідеально" сферичної у випадку точкового джерела або від "ідеально" циліндричної у випадку лінійного джерела, але ці перекручування легко передбачати й розрахувати, оперуючи з поняттям "швидкість поширення хвилі в різних напрямках". Це ж стосується перешкод на шляху поширення хвилі (наприклад, дерева, будинки на шляху звукової хвилі), і хвильових особливостей у вигляді каустик.

Таким чином, побудувавши вектори швидкості поширення випромінювання в різні сторони від джерела (розрізняються не тільки напрямки цих векторів у просторі, але, як показано вище, і скалярні чисельні значення швидкостей у різних напрямках), маємо можливість побудувати в тривимірному просторі об'ємну фігуру, котра відображає хвильовий фронт. Відбиття від перешкод (екранів), які зустрічаються на шляху поширення хвилі, приводять до змін у просторі ("зламів") векторів швидкості поширення, оскільки хвилі від перешкод відбиваються відповідно до законів відбиття. Те ж саме варто сказати про явища дифракції, рефракції й т.п. - кожне з яких добре досліджене й описано. Явище інтерференції при зіткненні двох хвильових фронтів також може бути графічно відображене як злиття цих фронтів з виникаючими в цьому місці каустиками й ін. Сучасні методи візуалізації звуку, наприклад, дозволяють навіть візуалізувати хвильовий фронт хвилі! У кожному разі, поняття "хвильовий фронт" досить добре досліджене й описане на сучасному рівні науки, і побудова хвильових фронтів у просторі на деякій відстані  $R$ ,  $m$  від джерела не представляє серйозної проблеми.

Обчислення площі кожного, яким би він не був, складного хвильового фронту, з урахуванням досягнень вищої математики й сучасної комп'ютерної техніки, складності не представляє. У розглянутих нами прикладах для максимальної наочності ми

використали найпростіші форми фронтів, із площами, описуваними алгебраїчними залежностями, однак практично не представляє складності скласти диференціальні рівняння, що описують площі фронтів набагато більше складної форми, (рішення яких може бути потім здійснене комп'ютерними методами).

Відповідно до [28], за рахунок побудови математичних моделей хвильових фронтів можна не тільки описувати спад абсолютних значень інтенсивності на різних відстанях від джерела, але й обчислювати відносні логарифмічні рівні, виражені в децибелах, що має особливе значення в акустиці.

---

Знаючи вихідну звукову потужність джерела, Вт; і створивши математичний опис хвильового фронту, що проходить через яку-небудь точку, віддалену на яку-небудь відстань від джерела - (у результаті чого може бути розрахована шукана площа фронту), можна вказати чисельне значення інтенсивності звуку в даній точці (а, розуміючи загальний принцип, можна взагалі відмовитися від абсолютних значень і легко перейти до звичних рівнів у дБ). Звідси (з опису конкретної форми хвильового фронту) випливає відома залежність спаду рівнів звукового тиску на 6 дБ при подвоєнні відстані від точкового джерела (спад пропорційно квадрату відстані); відома залежність спаду рівнів звукового тиску на 3 дБ при подвоєнні відстані від лінійного джерела (спад пропорційно першому ступеню відстані) і багато інших залежностей. Вони у свій час були відкриті емпіричним шляхом; у той же час, розуміючи загальний принцип, можна побудувати зображення хвильових фронтів від точкового (рис. 4.1.а) і лінійного (рис. 4.1.б) джерел (з відомими первісними рівнями звукової потужності), які проходять через точки з невідомими рівнями звукового тиску, віддалені на якусь відстань  $R$  від джерела й за рахунок обчислення площ хвильових фронтів в обох випадках розрахувати спад рівнів звукового тиску в залежності від відстані.



## Частина 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Використовувані в дослідженнях вимірювальні прилади і устаткування

Як вимірювальна апаратура нами був використаний портативний (кишеньковий) шумомір китайського виробництва. Він володіє безліччю функцій, з яких використовувалися наступні:

1) Вимір рівня звуку, дБА, що коригується за стандартизованою шкалою А з урахуванням різного сприйняття слуховим аналізатором людини звуків різних частот (Переключається в меню “Mode” рис. 3.1).

2) Можливість спектрального аналізу звуку: (октавний спектр для всіх без винятку вимірів надавався графічно як для нормованих смуг в 31,5; 63; 125; 250; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц; так і більш того} навіть у ненормованих смугах 16 і 16000 Гц). Інші вигляди спектрів (1/3 октави та ін.)

3) Індикація найвищих пікових значень флуктуацій рівня в кожній октавній смузі (верхня риска типу \_ над стовпчастою індикацією миттєвих значень в кожній октавній смузі. Приводиться в дію меню “Trace” рис. 3.1).

4) Максимум випромінювання (пікова кількість дБ на піковій частоті, Гц), який не є нормованим, але цікавий с наукової точки зору.

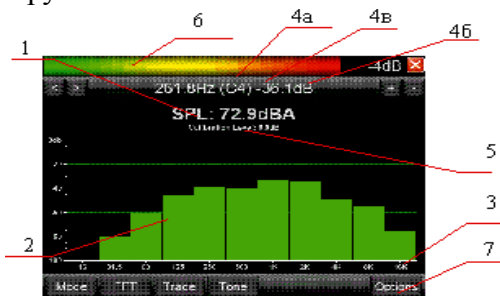


Рис. 3.1 - Знімок з екрану кишенькового шумоміра (з позначенням графічного відображення виконання вказаних вище функцій при вимірі):

1) Індикатор рівня звуку; SPL - (sound Pressure Level), - рівень звуку, скоректований за шкалою корекції А, показує виміряний рівень в дБА. Основний показник, що підлягає контролю.

2) Аналізатор спектру: має осі координат, градуйовані в Гц (вісь абсцис) і в дБ (вісь ординат). По осі абсцис відкладаються середньгеометричні частоти октавних смуг частот: для кожної з октав вони стандартизовані (см поз. 3). По осі ординат відкладаються рівні звукового тиску в дБ: (за стобальній шкалою, в зворотному порядку. "- 100 db" на початку відліку при цьому відповідає в реальності 0 дБ; "0 db" відповідає реальним 100 дБ. При роботі приладу в кожній октавній смузі у вигляді зеленого стовпчика, що світиться, відображається виміряний рівень звукового тиску в ній, виражений в дБ. Аналіз спектру у вигляді стовпчиків показує миттєві значення рівнів.

3) Вісь абсцис аналізатора спектру - індикація октавних смуг частот. Українськими нормативними документами регламентовані смуги, починаючи з 31,5 Гц до 8000 Гц; використовуваний прилад має ширші межі вимірів і працює також в октавах 16 Гц і 16000 Гц).

4) відображує максимум випромінювання :  $L_{\max}$  (поз. 4б) - максимальний рівень звукового тиску, дБ в процесі виміру на певній частоті  $f$ , Гц (поз. 4а). Цей параметр не відноситься до нормованих, але представляє особливий інтерес з точки зору вивчення звуку. Через технічні особливості приладу  $L_{\max}$  (поз. 4б) відображується за стобальною шкалою в зворотному порядку, тобто "- 36,1 dB" з рис. 3.1 насправді є  $100 - 36,1 = 63,9$  дБ. Таким чином, смужку верхнього транспаранта з рис. 3.1 насправді слід читати так: "Максимум випромінювання звуку зафіксований на частоті 261,8 Гц і складає 63,9 дБ". Дані поз. 4в нами в наших експериментах ніяк не використовувалися; у описі приладу ніяких відомостей відносно інформації по поз. 4в немає.

5) Підпис "*Calibration level: 0,0 dB*" під поз. 1 рис. 3.1 (дрібними буквами) є службовою інформацією, призначена для індикації режиму налаштування: (калібрування приладу) і в безпосередніх вимірах не використовується.

6) Люмінесцентний індикатор рівня – подібний індикаторам рівня, застосованим у побутовій апаратурі.

7) Меню налагодження "*Mode*", "*FFT*", "*Trace*", "*Tone*", "*Options*" (рис. 3.2)

Найважливішими з них є "*Mode*" та "*Trace*".

Меню налагодження “Mode” (рис. 3.2.а) дозволяє перемикаєти режими спектрального аналізу, а меню “Trace” (рис. 3.2.б) – візуалізує «слід» вимірюваного спектру.

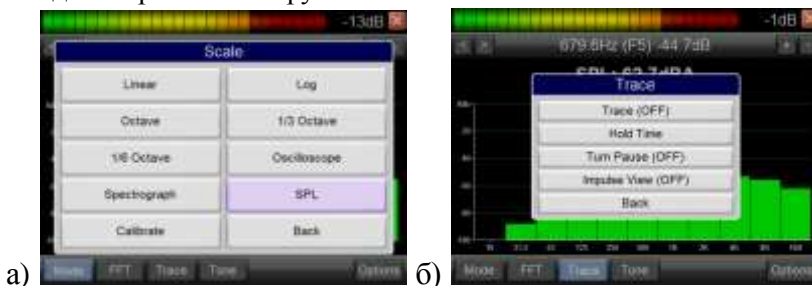


Рис. 3.2 – Меню “Mode” та “Trace” у ввімкненому стані

Наприклад, меню “Mode” забезпечує:

- Можливість не лише октавного, але і третьоктавного (рис. 3.3.а) і навіть 1/6-октавного (рис. 3.3.б) аналізу спектру.

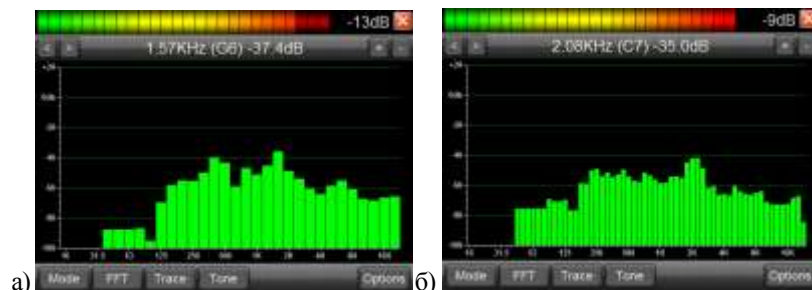
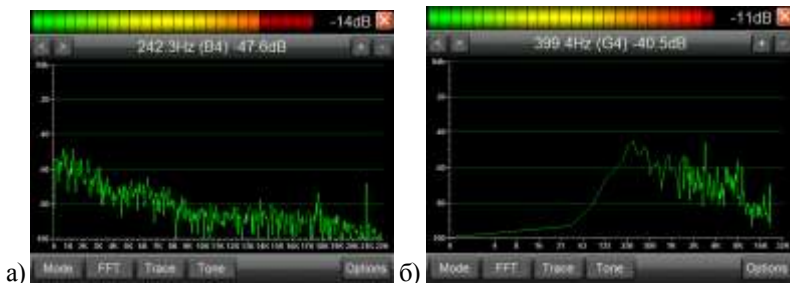


Рис. 3.3 - Перемикання дисплея на індикацію 1/3-октавного (а) і 1/6-октавного (б) аналізу спектру. Поз. 1 з попереднього рис. 3.1 при цьому не візуалізується, усі інші елементи і шкали від рис.3.1 повністю співпадають з аналогічними елементами рис. 2.3.

- Можливість відображення свідчень у вигляді лінійної або логарифмічної шкали (з одночасним максимальним розширенням меж вимірів до максимуму).

На цьому не закінчуються надзвичайно широкі можливості приладу, але його опис тут ми перериваємо, оскільки освітлення інших функцій не входить в завдання нашої книги.



*Рис. 3.4 - Той же спектр, але тільки відкладений в лінійному (а) та логарифмічному (б) масштабі. Вісь абсцис (частоти) при цьому градується, починаючи з 0 Гц (інфразвук), і закінчується 32 кГц (ультразвук). Поз. 1 з попереднього рис. 3.1 при цьому не візуалізується, усі інші елементи і шкали від рис. 3.1 повністю співпадають з аналогічними елементами рис. 3.4.*

### **3.2 Умови та методика проведення вимірювань**

При проведенні досліджень нами в повній мірі дотримувалися вимоги нормативних документів [12, 13, 41 - 46].

Місця проведення виміру вибиралися на ділянках вулиць і доріг із сталою швидкістю руху транспортних засобів і на відстані не менше 50 м від перехресть, транспортних площ і зупинних пунктів пасажирського громадського транспорту. Виміри проводилися за умови, що поверхня проїжджої частини вулиць і автомобільних доріг має бути чистою і сухою, а баластний шар трамвайних і залізничних колій не має бути мокрим і таким, що промерзлий. Вимір не проводився під час випадання атмосферних опадів і при швидкості вітру більше 5 м/с.

Час проведення виміру встановлювався в періоди максимальної інтенсивності руху транспортних потоків. При проведенні виміру шуму враховувалася дія вібрацій, магнітних і електричних полів, радіоактивного випромінювання і інших несприятливих чинників, що впливають на результати виміру.

При проведенні виміру шумової характеристики транспорт-

ного потоку, до складу якого входять легкові і вантажні автомобілі, автопоїзда, автобуси (надалі - автомобілі), мотоцикли, моторолери, мопеди і мотовелосипеди (надалі - мотоцикли), а також тролейбуси і трамваї, вимірювальний мікрофон розташовувався на тротуарі або узбіччі на відстані  $(7,5 \pm 0,2)$  м від осі ближньої до точки виміру смуги або до шляху руху транспортних засобів на висоті  $(1,5 \pm 0,1)$  м від рівня покриття проїжджої частини або голівки рейки. В умовах обмеженої забудови вимірювальний мікрофон, як це допускається [41], розташовувався на відстані меншому 7,5 м від осі ближньої до точки виміру смуги або шляху руху транспортних засобів, але не ближче за 1 м від стін будівель, суцільних огорож і інших споруд або елементів рельєфу, що відбивають звук.

У разі розташування вулиці або дороги у виїмці вимірювальний мікрофон слід встановлювати на брівці виїмки на висоті  $(1,5 \pm 0,1)$  м від рівня землі. При проведенні виміру шумової характеристики потоку залізничних потягів (як це буде показано в наступному розділі), вимірювальний мікрофон розташовувався на відстані  $(25 \pm 0,6)$  м від осі ближньої до точки виміру магістральної залізничної колії на висоті  $(1,5 \pm 0,1)$  м від рівня землі. Згідно з [41], в умовах обмеженої забудови вимірювальний мікрофон допускається розташовувати на відстані меншому 25 м від осі ближнього до точки виміру залізничної колії, але не ближче за 1 м від стін будівель, суцільних огорож і інших споруд або елементів рельєфу, що відбивають звук. У разі розташування залізничної колії у виїмці вимірювальний мікрофон слід встановлювати на брівці виїмки на висоті  $(1,5 \pm 0,1)$  м від рівня землі.

Вимірювальний мікрофон був спрямований у бік транспортного потоку. Оператор, що проводить вимір, повинен знаходитися на відстані не менше чим 0,5 м від вимірювального мікрофону.

Згідно з [41], перемикач частотної характеристики вимірювальної апаратури при проведенні виміру рівнів звуку слід встановлювати в положення "А", а перемикач тимчасової характеристики - в положення згідно з вимогами інструкцій з експлуатації приладів. Для розглянутого вище приладу вимірювався SPL - (Sound Pressure Level), виражений в dBA (рис. 3.1) и в меню FFT обиралася характеристика Slow.

Період виміру шумової характеристики транспортного потоку, до складу якого можуть входити автомобілі, мотоцикли, а також тролейбуси і трамваї, охоплював проїзд не менше 200 транспортних одиниць в обох напрямках. Період виміру шумової характеристики транспортного потоку, до складу якого входять тільки трамваї, охоплював проїзд не менше 20 трамваїв в обох напрямках.

Тривалість періоду виміру шумової характеристики потоку залізничних потягів складала не менше 1 год.

Відлік рівнів звуку необхідно виконувався як за наявності, так і за відсутності на ділянці виміру рухомих транспортних засобів.

Згідно з [41], п. 4.10. значення рівнів звуку слід прочитувати з шкали шумоміра з точністю 1 дБА. Наш прилад (рис. 3.1) забезпечує точність 0,1 дБА.

Дотримувалася також вимога п. 4.11 [41] про те, що рівні звуку перешкод, що створюються сторонніми джерелами шуму в період виміру шумових характеристик транспортних потоків, мають бути не менше чим на 20 дБА нижче за рівні при проходженні перед вимірювальним мікрофоном транспортних засобів, включаючи перешкоди.

### **3.3 Місце проведення вимірювань**

В якості місця проведення вимірів шуму було обрано місто Полтава. Це - адміністративний центр Полтавської області і

Полтавського району, важливий культурний центр, великий транспортний вузол. Площа міста - 104,42 км<sup>2</sup>, адміністративно місто розділене на 3 райони (Жовтневий, Київський і Ленінський). Населення міста (за даними за 2008 рік) налічує 300,5 тисяч людина. Міське самоврядування представлене місцевою міською радою і главою міста.

Полтава знаходиться в східній частині Європи, в 301 км на схід від Києва. Географічні координати: 49° 35' північної широти, 34° 33' східних довготи, 140 м над рівнем моря.

Місто розташоване на Придніпровській низовині, на березі ріки Ворскла. Одна з приток ріки - Коломак, впадає у Ворсклу в межах міста. В межі міста знаходиться декілька невеликих природних озер і безліч штучних ставків. Рельєф міста в більшості своїй рівномірний, на відстані 1.5 км від річки спостерігається різкий спуск (правий берег Ворскли, на якому розташовано місто, - крутіший, висота пагорбів доходить до 80-100 м відносно рівня річки).

Географічне положення Полтави досить вигідно і з течією історії істотно вплинуло на розвиток міста. Місто знаходиться на важливих транспортних шляхах. Місто забезпечує зв'язок між найбільшими містами України - Києвом, Харковом і Дніпропетровськом.

За даними "Державного комітета статистики" на 1 січня 2010 року, населення міста складало 300,5 тисяч людей, тобто знизилося з 1989 року на 14 тисяч - що є непоганим показником, враховуючи демографічну обстановку по усій Україні.

Полтава є одним з міст з густиною населення більше 3000 чоловік на км<sup>2</sup>. Близько 87 % населення - українці. 44% працездатного населення зайнято в промисловості, більше 16 % - у сфері обслуговування, 6 % - в науці, культурі, освіті.

В цілях організації управління, місто ділиться на 3

адміністративні райони:

- Жовтневий район, знаходиться в центральній і південно-західній частині міста. Займає площу 20.77 км<sup>2</sup>. Населення - 148 тисяч людей (на 2005 рік). У районі знаходиться історичний і культурний центр міста.
- Київський район, знаходиться в північній, північно-західній, центральній частині міста. Площа - 54.37 км<sup>2</sup> (52.8 % площ міста). Населення - 112 тисячі людей. У районі знаходиться велика кількість промислових підприємств і приватних секторів.
- Ленінський (укр. Ленінський) район. Знаходиться в східній і південно-східній частині міста, в заплаві річки Ворскла. Площа - 29.88 кв. км, населення - 53 тисячі людей.

Полтава - важливий центр автомобільних перевезень, знаходиться на перетині транспортних шляхів, що сполучають західну і східну частині України. Автомобільні шляхи зв'язують Полтаву з Києвом, Харковом, Дніпропетровськом, Сумами, Кременчуком.

Через Полтаву проходять такі автомобільні маршрути:

Е 40 - він же траса Київ-Харків (східний напрям - Чутово, Харків; західне - Хорол, Лубни, Київ).

Н - 12 - національна автодорога (Котельва, Ахтирка, Суми).

М - 22 - міжнародна автодорога (Кременчук)

Полтава є великим залізничним вузлом. У місті є два залізничні вокзали (Київський і Південний).

В Полтаві для перевезення пасажирів, задіяні наступні види громадського транспорту :

- Електричний - тролейбуси;
- Автомобільний - автобуси, мікроавтобуси, легкові таксі.

Мережа міського пасажирського транспорту охоплює усі райони міста і складається з 15 тролейбусних і 88 автобусних



маршрутів. Загалом - мережа транспортного сполучення у межах міста складається з 75 км тролейбусних ліній і більше 250 км автобусних маршрутів, 340 зупинок громадського транспорту. З метою поліпшення екологічного стану в місті, практично усі двигуни пасажирського транспорту перекомплектовані і працюють на газовому паливі.

На вулиці Великотирнівській, поряд з трасою Е40, знаходиться автовокзал, з якого здійснюються перевезення по Україні і Європі. Також є автовокзали районного значення на вулицях Шевченко і Зеньковській.

### **3.4 Геодезичні підоснови території м. Полтава**

Для точної та достовірної фіксації географічного положення кожного місця вимірів, тобто для позначення просторового положення кожної контрольної точки, виникає необхідність в топографічних планах місцевості. Якщо ця умова не буде виконана, будь-які навіть самі акустично точні виміри не мають сенсу – бо зовсім безглуздо мати одержаний спектр шуму, котрий не прив'язаний до плану місцевості. Наприклад, спектр шуму рис. 3.1 не значить практично ніщо, якщо для нього не вказані географічні координати точки, де він був виміряний. І тільки коли він стає спектром *саме* в одній з контрольних точок, він набирає зміст і перестає бути невизначеною абстракцією.

Картографування шумового режиму в наших дослідженнях здійснювалося з використанням геодезичних підоснов території, себто топографічної карти м. Полтава (у електронному вигляді).

КПК типу iPAQ - 214, використовуваний для реєстрації цих вимірів в польових умовах, мав в гнізді SD-слоту GPS - модуль, що визначає координати цієї точки на поверхні Землі, знаходився в мобільному Інтернет-з'єднанні з сайтом <http://mobile.google.com> і (безпосередньо в процесі вимірів) викачував звідти фотографії місцевості, зроблені з космосу:

(система супутникової навігації представляє на екран КПК фрагмент тієї самої ділянки місцевості, де в цю секунду знаходиться цей КПК з включеним GPS - модулем), - куди вже автором в процесі вимірів примусово наносилася інформація про розташування цієї контрольної точки (про це докладно далі).

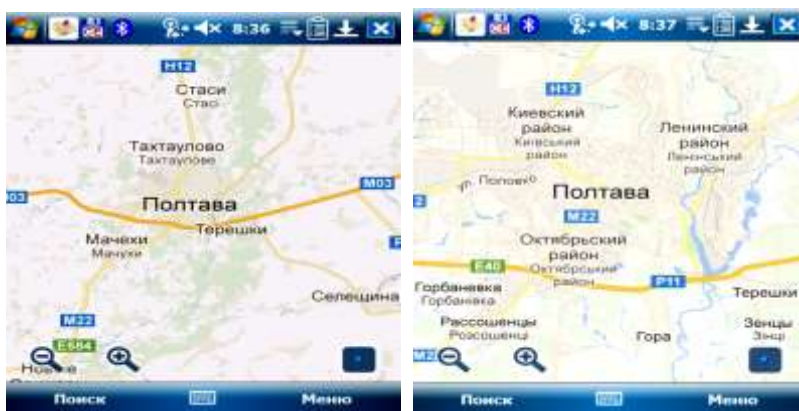
Таким чином, експерименти з вимірами шуму (то їх подальшій обробці) потребували застосування геоінформаційних систем (надалі – ГІС).

Будь-яка ГІС містить у собі інтерактивні карти та інші види, що оперують із наборами географічних даних. Карти (в даній інтерпретації; маються на увазі саме *електронні карти*) - це потужний модельний образ для визначення й стандартизації того, як люди використовують географічну інформацію й взаємодіють з нею. Інтерактивні карти надають основний користувацький інтерфейс для більшості ГІС -додатків.

Електронні карти в ГІС багато в чому схожі зі статичними паперовими картами, але до того ж вони інтерактивні, тобто користувачеві можна взаємодіяти з ними. Інтерактивну карту можна зменшувати й збільшувати, причому при певних масштабах деякі шари на карті можуть з'являтися або зникати. Можливо застосовувати умовні знаки для відображення шарів карти на основі будь-якого обраного набору атрибутів. При вказівці географічного об'єкта на інтерактивній карті можна одержати про нього додаткову інформацію, будувати просторові запити й проводити аналіз. Наприклад, можна знайти всі точки з певним рівнем звуку на визначеній відстані від лінійного джерела шуму. Користувачі ГІС за допомогою інтерактивних карт проводять редагування даних і створюють просторові подання об'єктів.

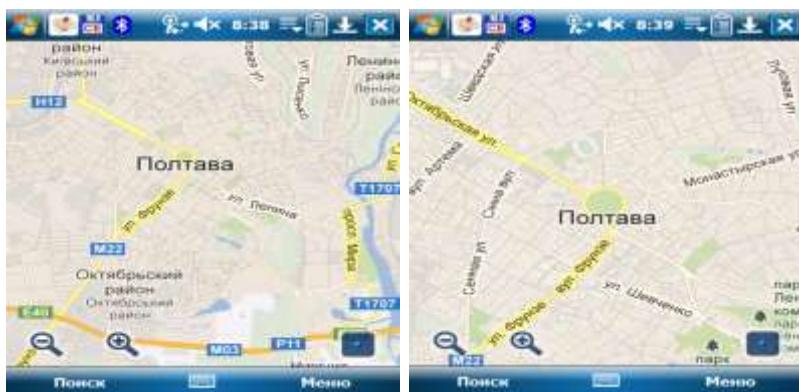
Інтерактивні електронні карти ГІС використовуються для відображення й передачі географічної інформації, а також для виконання численних завдань, таких як розвинена компіляція

даних, картографування, аналіз, запити, збір даних у польових умовах.



*Рис. 3.5 – В Google Maps на екрані КПК поступово переміщуємось до конкретного району досліджень*

Крім карт, у базах даних ГІС використовуються інші інтерактивні види, такі як тимчасові зрізи, глобуси й схематичні креслення. Ці карти - основна робоча форма у ГІС, що забезпечує доступ до географічної інформації.



*Рис. 3.6 – Те ж, що й попередній рисунок. Збільшуємо масштаб для переміщення в район безпосередніх досліджень*

### 3.5 Загальна уява про геоінформаційні системи та їхні особливості та побудову

Географічна інформаційна система (ГІС) - це система для управління географічною інформацією, її аналізу і відображення. Географічна інформація представляється у вигляді серій наборів географічних даних, які моделюють географічне середовище за допомогою простих узагальнених структур даних. ГІС включає набори сучасних інструментальних засобів для роботи з географічними даними.

Географічна інформаційна система підтримує декілька видів для роботи з географічною інформацією, які надані на рис. 3.7:

1. **Вигляд Базы Геоданих:** ГІС - це просторова база даних, що містить набори даних, які представляють географічну інформацію в контексті загальної моделі даних ГІС (векторні об'єкти, растри, топологія, мережі і так далі).
2. **Вигляд Геовізуалізації:** ГІС - це набір інтелектуальних карт і інших видів, які показують просторові об'єкти і стосунки між об'єктами на земній поверхні. Можуть бути побудовані різні види карт, і вони можуть використатися як "вікна в базу даних" для підтримки запитів, аналізу і обробки.
3. **Вигляд Геообробки:** ГІС - це набір інструментів для отримання нових наборів географічних даних з існуючих наборів даних. Функції обробки просторових даних (геообробки) витягають інформацію з існуючих наборів даних, застосовують до них аналітичні функції і записують отримані результати в нові похідні набори даних.

Ці три види ГІС представлені каталогом, картою і набором інструментів. Усі вони є невід'ємними складовими повноцінної ГІС і більшою чи меншою мірою використовуються в усіх ГІС - додатках.

ГІС - це особливий тип бази даних про навколишній світ - географічна база даних (база геоданих). Це "інформаційна система для географії". По суті, в основі ГІС лежить структуро-

вана база даних, що описує мир у географічному аспекті.

Наведемо короткий огляд деяких ключових принципів, важливих для розуміння баз геоданих.

Створюючи дизайн бази геоданих ГІС, користувачі визначають, як будуть представлятися різні просторові об'єкти. Наприклад, земельні ділянки звичайно представляються як полігони, вулиці - як центральні лінії, шпари - як точки, і т.д. Ці об'єкти групуються в класи об'єктів, у яких кожен набір має єдине географічне подання.



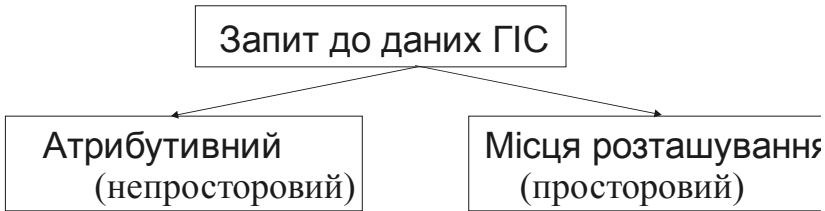
*Рис. 3.7 - Три види ГІС для роботи з геогра- фічною інформацією*

Кожен набір даних ГІС дає просторове подання якогось аспекту навколишнього світу, включаючи:

- Упорядковані набори векторних об'єктів (набори точок, ліній і полігонів).
- Набори растрових даних, такі як цифрові моделі рельєфу або зображення.
- Просторові мережі.
- Топографія місцевості й інші поверхні.
- Набори даних геодезичної зйомки.
- Інші типи даних, такі як адреси, назви місць, картографічна

інформація.

Крім географічних подань, набори даних ГІС включають традиційні табличні атрибути, що описують географічні об'єкти. Багато таблиць можуть бути пов'язані з географічними об'єктами по загальних полях (їх часто називають ключовими).



*Рис. 3.8 - Вищенаведений приклад спектру шуму рис. 3.1 є суто атрибутивним, і може бути застосований в картографуванні шуму лише при додаванні просторових даних*

Просторові відносини, такі як топології й мережі, також є дуже важливими частинами бази даних ГІС. Топологія застосовується для контролю за загальними границями між просторовими об'єктами, для визначення й виконання правил цілісності даних, а також для підтримки топологічних запитів і навігації (наприклад, щоб визначити суміжність і зв'язок об'єктів). Топологія також використовується для розширеного редагування й побудови просторових об'єктів на основі неструктурованих геометричних елементів (наприклад, для побудови полігонів з ліній).

ГІС організує просторові дані в серії тематичних шарів і таблиць. Оскільки набори даних у ГІС зв'язані географічно, їм приписані реальні місця розташування, і вони накладаються один на одного.

У ГІС однорідні набори географічних об'єктів можуть бути зібрані в такі шари, як земельні ділянки, будинки й спорудження, ортофотознімки й растрові цифрові моделі рельєфу.

Чітко певні набори геоданих критично важливі для геоінформаційної системи, а засноване на шарах поняття тематичного набору інформації важливо для концепції набору даних ГІС.

Набори даних можуть представляти:

- Первинні “сирі” виміри (наприклад, супутникові зображення).
- Скомпільовану й інтерпретовану інформацію.
- Дані, отримані в ході виконання операцій геообробки з метою їхнього аналізу й моделювання.

Багато просторових відносин між шарами легко визнаються, виходячи з їх загального географічного положення.

ГІС управляє простими шарами даних як класами родових ГІС-об'єктів і використовує багатий набір інструментів при роботі із шарами даних для виявлення багатьох ключових відносин.

ГІС використовує безліч наборів даних з багатьма поданнями, часто отриманими з різних джерел. Тому, дуже важливо, щоб набори даних ГІС були:

- Простими у використанні й легкими для розуміння.
- Сумісними з іншими наборами географічних даних.
- Ефективно компілюєними й оцінюваними.
- Постаченими зрозумілою документацією по наповненню, планованому використанню й призначенню.

Будь-яка база даних ГІС або файлова база буде жорстко дотримуватися цих загальних принципів і концепцій. Для будь-якої ГІС необхідний механізм опису географічних даних у цьому контексті, а також широкий набір інструментів для використовування й управління цією інформацією.

Але створення бази геоданих – лише перший етап створення повноцінної ГІС. Це якби «статика», це – просто набір геоданих в незмінному вигляді. Потребується, по-друге, її візуалізація; а по-третє, обробка цих даних.

Геовізуалізація має на увазі роботу з картами й іншими видами географічної інформації, у тому числі з інтерактивними картами, 3D сценами, підсумковими діаграмами й таблицями, видами з показниками часу, схематичними видами мережних відносин.

Наступний вид ГІС представлений колекцією наборів географічних даних й операторами (інструментами), застосовуваними до цих наборів даних. Набори географічних даних можуть являти собою первинні “сирі” виміри (наприклад, супутникові знімки), інтерпретовану й скопійовану аналітиками інформацію (наприклад, дороги, спорудження або, конкретно для нашого випадку, набір контрольних точок на місцевості з обмірюваними в них спектрами рівнів звуку), або інформацію, отриману з інших джерел шляхом додаткового аналізу або моделювання: (у цьому випадку - побудова карт шуму).

ГІС пропонує багатий вибір інструментів для обробки просторової інформації. Тут і з'являється відома формула логічної побудови ГІС:

$$\text{Дані} + \text{Інструмент} = \text{Нові дані}$$

Інструменти ГІС є будівельними блоками для виконання багатокрокових операцій. Інструмент застосовує операцію до деяких наявних даних з метою одержання нових даних. Середовище геообробки використовується в ГІС для послідовного виконання серії таких операцій.

Операції, з'єднані в єдиний ланцюжок, формують модель процесу обробки даних. Така єдина послідовність виконання операцій використовується в ГІС для автоматизації виконання численних завдань геообробки.

При аналізі отриманих даних ГІС можуть використовуватися для вирішення таких завдань:

- відображувати розподіл одиниць статистичної сукупності



- по значеннях або різновидах досліджуваної ознаки;
- характеризувати розвиток явищ, що вивчаються, в часі, їх загальну тенденцію розвитку, сезонність коливань, абсолютну і відносну швидкість їх розвитку і зміни;
- порівнювати розміри різних явищ, їх різних частин, а також тенденції їх розвитку і зміни в часі і в просторі;
- виявляти структуру явищ, що вивчаються, і її зміни, тобто структурні зрушення і;
- встановлювати взаємозалежність між явищами або їх ознаками, а також міра тісноти існуючого між ними зв'язку;
- відображувати міру поширення явищ, що вивчаються, по тій або іншій території і інтенсивності цього поширення.

Геообробка використовується для моделювання процесів передачі даних з однієї структури в іншу з метою виконання багатьох стандартних завдань ГІС - наприклад, для імпорту даних з різних форматів, інтегрування цих даних у ГІС, для стандартних процедур перевірки якості імпортованих даних. Можливість автоматизації й повторного виконання таких процесів є сильною стороною ГІС.

Механізм, використовуваний для побудови робочих потоків при геообробці, повинен виконувати ряд команд у певній послідовності. Геообробка широко використовується на всіх етапах роботи з ГІС для автоматизації й компіляції даних, управління, аналізу й моделювання даних, а також для картографії.



Рис. 3.9 - Геообробка - це ключове середовище для моделювання й

### *аналізу*

Управління потоками географічних даних важливо для всіх ГІС-додатків. Користувачі ГІС застосовують функції геообробки для переміщення даних до бази даних і з неї, для публікації даних у різних форматах, для об'єднання подібних наборів даних, модернізації схем баз даних ГІС, а також для виконання пакетної обробки вмісту баз даних.

ГІС -дані, як правило, мають великий обсяг і включають велику кількість великих елементів. Наприклад, простий запит до бази даних виведе кілька рядів даних, у той час як для створення карти буде потрібно запросити з бази дані сотні або навіть тисячі записів. Крім того, обсяг відображуваної векторної або растрової графічної інформації може становити багато мегабайтів. Крім цього, ГІС-даним властиві складні відносини й структури, такі як транспортні мережі, топографія території й топологія.

Компіляція даних ГІС є нетривіальним спеціалізованим процесом. Для побудови й підтримки графічних наборів даних у ГІС потрібні розвинені засоби редагування. А для підтримки цілісності й поведження географічних векторних об'єктів і растрів необхідна їхня спеціалізована обробка на основі особливих географічних правил і команд. Тому компіляція даних у ГІС вимагає істотних витрат.

Як й в інших системах управління базами даних, у базі даних ГІС відбувається постійне оновлення різноманітних даних. Тому база даних ГІС, як та інші бази даних, повинна підтримувати подібні транзакції. При цьому, у користувачів ГІС є деякі спеціальні вимоги до транзакцій. Однією з головних умов є можливість підтримки довгих транзакцій.

У ГІС одна єдина операція редагування може викликати зміни багатьох рядків даних у багатьох таблицях. Користувачі повинні мати можливість скасовувати й повторювати операції

редагування. Сеанс редагування може тривати кілька годин або навіть днів. Часто редагування повинне проводитися в системі, відкріпленої від центральної, спільно використовуваної бази даних.

У багатьох випадках, істотне відновлення бази даних проводиться поетапно. Цей процес у значній мірі циклічний. Технічне завдання спочатку складається й передається інженерові, потім поступово модифікується в міру реалізації окремих етапів, і, нарешті, всі внесені зміни повертаються назад у корпоративну базу даних.

Робочий процес відновлення й передачі даних може тривати дні й місяці. Однак база даних ГІС однаково повинна залишатися доступною для підтримки щоденної роботи й поточних відновлень, а користувачі повинні мати можливість звертатися до своїх версій загальної бази даних ГІС.

От ще приклади робочих процесів управління даними в ГІС:

- Автономне редагування: іноді потрібна можливість “відкріплення” фрагментів бази даних ГІС й їхньої реплікації (переносу) в інше місце в незалежну, відокремлену систему. Наприклад, для проведення редагування в польових умовах деяких даних, необхідно забрати із собою якісь дані, провести їхнє редагування й відновлення на місці виконання робіт, а потім переслати внесені зміни в основну базу даних.
- Розподілені географічні бази даних: локальна база даних може бути частковою копією відповідного “шматка” основної бази даних корпоративної ГІС. Ці бази даних повинні періодично синхронізуватися для обміну внесеними в кожен з них змінами.

ГІС - це по своїй суті розподілена інформаційна система

У більшості географічних інформаційних систем дані шарів і таблиць надходять із різних джерел. Кожен виконавець розробляє більш-менш вагомую частину, а не все інформаційне наповнення своєї ГІС. Звичайно хоча б деякі шари даних надходять із зовнішніх джерел. Потреба в даних є стимулом для користувачів одержувати нові дані найбільш ефективними й швидкими способами.

Таким чином, керування даними ГІС може здійснюватися кількома користувачами.

Багато географічних наборів даних можуть копіїюватися й управлятися як загальний інформаційний ресурс і спільно використовуватися співтовариством користувачів. До того ж користувачі ГІС мають власне бачення того, яким образом можна забезпечити обмін популярними наборами даних через Web.

Ключові web-вузли, називані порталами каталогів ГІС, надають можливість користувачам як викладати власну інформацію, так і шукати доступну для використання географічну інформацію. У результаті ГІС-системи все більшою мірою підключаються до Всесвітньої павутини.

Географічне знання споконвічно є розподіленим і слабо інтегрованим. Вся необхідна інформація рідко втримується в окремому екземплярі бази даних із власною схемою даних. Користувачі ГІС взаємодіють один з одним з метою одержати відсутні частини наявних у них ГІС- даних. За допомогою ГІС-мереж користувачам простіше налагодити контакти й обмін накопиченими географічними знаннями.

ГІС-каталог може містити посилання на джерела даних, наявні як на цьому, так і на інших сайтах.

Вимоги до ГІС впливають на процес розробки й впровадження програмного ГІС -забезпечення. Подібно іншим інформаційним технологіям, ГІС повинна забезпечувати простоту

впровадження додатків, створених на її основі для підтримки робочих процесів і бізнес вимог будь-якої організації. Це досягається за рахунок створення базової платформи програмного забезпечення, що підтримує різні типи наборів географічних даних, розвинені інструментальні засоби керування даними, їхнього редагування, аналізу й візуалізації.

Платформа ГІС повинна надавати всі необхідні можливості:

- географічна база даних для зберігання й керування всіма географічними об'єктами;
- заснована на Web мережа для розподіленого управління географічною інформацією і її спільним використанням;
- настільні й серверні додатки для:
  - компіляції даних,
  - інформаційних запитів,
  - просторового аналізу й обробки геоданих,
  - створення картографічних продуктів,
  - візуалізації й дослідження растрових зображень,
  - керування даними ГІС;
- модульні програмні компоненти для вбудовування необхідної логіки в інші додатки й спеціалізовані програми;
- географічні інформаційні сервіси для багаторівневих і централізованих ГІС-систем.

Нові віяння в комп'ютерній області, такі як широке поширення Інтернет-технологій, розвиток технології, об'єктно-орієнтоване програмування, розробка мобільних комп'ютерів і широкомасштабне застосування ГІС, призвели до нового бачення ролі й місця ГІС-технології. Погляд на платформу ГІС поступово еволюціонує й розширюється. Згідно з ним, ГІС поділяються:

1) **Настільні ГІС.** Настільні ГІС - основні робочі місця ГІС професіоналів для компіляції (контролю якості), авторизації

(створення) і використання географічної інформації й накопиченого знання.

**2) Мобільні ГІС.** У зв'язку з розвитком сфальцьованих на певних завданнях користувальницьких рішень для мобільних комп'ютерів, ГІС усе в більшій мері пересуваються з офісу прямо на місце виконання польових робіт. Бездротові мобільні пристрої з підтримкою системи глобального позиціонування (GPS) широко використовуються для доступу до наборів даних польових вимірів й іншої ГІС-інформації. Для рішення ряду виконуваних у поле робіт потрібні порівняно прості географічні інструменти, а для рішення інших, більше складних операцій - розвинені географічні інструменти. по

**3) Серверні ГІС.** Користувачі ГІС застосовують централізовані серверні ГІС для публікації й обміну географічними знаннями в межах великих організацій і з багатьма зовнішніми користувачами через Інтернет.

### **3.6 Універсальність або спеціалізація?**

Існує, принаймні, два принципово різних підходи до програмного забезпечення, використовуваному для створення карт шуму. Відповідно до першого з них, використовують універсальні багатофункціональні геоінформаційні програмні комплекси, потенційно здатні безліч різноманітних завдань. Частковим випадком однієї з таких завдань є побудова саме карт шуму. У такий програмний комплекс (класичним прикладом може з'явитися ArcGIS) дослідник уводить бажану математичну модель процесів поширення шуму, відповідним чином набудовує його, уводить дані й т.п., - після чого програма буде карту шуму (за аналогією з усіма іншими завданнями, які вона навчена вирішувати). Варто чітко розуміти, що в ArcGIS *немає* спеціальної кнопки **"Побудова карт шуму"**, *немає*

відповідних меню, немає ніяких акустичних формул і готової графі для занесення значень вимірів рівня звукового тиску; а слова "карта шуму", децибел" і т.п. *жодного разу не зустрічаються* навіть у його багатотомній технічній документації. Ця програма просто призначена для того, щоб будувати графічні схеми й карти на базі введених у неї геоінформаційних даних (на базі примусово обумовлених користувачем закономірностей їхньої побудови); одним з безлічі окремих випадків таких даних є акустичні, одним з локальних прикладів закономірностей є закономірності поширення шуму в міській забудові, а одним з окремих випадків графічних схем є шукана карта шуму.

Відповідно до другого підходу, для створення карт шуму використовують вузькоспеціалізоване програмне забезпечення, спеціально створене для даної мети. Ніякі інші завдання, крім виробництва споконвічно закладених у нього акустичних розрахунків, воно вирішувати не вміє. Прикладом такого програмного забезпечення є, зокрема, закордонні програмні комплекси Map Noise, Sound Plan, Mitha, Cadna й ін., а також російський ExNOISE [47].

### **3.7 Методика досліджень нашої наукової роботи**

При цьому ми використали перший підхід з вищевказаних. Не маючи ніякі дорогі спеціалізовані програмні комплекси (типа описуваних в [47]), категорично не бажаючи виконувати акустичні розрахунки по апріорі невідомим нам алгоритмам: (яка гарантія, що перераховані вище програмні комплекси вважають правильно??? Крім запевнянь самого виробника й чиїхось заочних рекомендацій), - однак маючи достатню наукову кваліфікацію й численні власні наробітки для самостійної розробки математичних моделей процесів поширення шуму, ми використали ArcGIS (запрограмувавши на його базі зазначену модель).

ArcGIS надає масштабоване середовище для роботи з ГІС як окремих користувачів, так і груп користувачів, на серверах, через Web й у польових умовах.

ArcGIS заснована на загальній модульній бібліотеці програмних ГІС-компонентів, що називається ArcObjects™.

До складу ArcObjects входить широкий набір програмних компонентів, що дозволяють описати як прості об'єкти (наприклад, окремі геометричні об'єкти), так і складні об'єкти (наприклад, об'єкт карти для взаємодії з існуючими документами). У комплексі ці компоненти надають розроблювачам багату функціональність сучасної ГІС. Продукти ArcGIS Desktop містять інтегрований набір розвинених ГІС-додатків. У їхній склад входить ряд настільних Windows-додатків (таких як ArcMap, ArcCatalog™, ArcToolbox™ й ArcGlobe) з компонентами користувацького інтерфейсу. ArcGIS Desktop доступна із трьома рівнями функціональності — ArcView®, ArcEditor™ й ArcInfo™; при тому можуть бути настроєна й розширена з використанням ArcGIS Desktop Developers Kit, що входить в їхній склад пакета розроблювача.

Наше власне дослідження проводилося з використанням апаратних і програмних засобів, докладно описаних у роботах [10, 23, 27] і захищених патентом України [11].

Вишукування з побудови карт шуму, відповідно до загальноприйнятої практики геоінформаційних досліджень ділилися на два послідовних етапи - польовий (натурні виміри акустичних параметрів) і камеральний (обробка отриманих результатів, побудова карт шуму).

ArcGIS включає додатки, що забезпечують виконання обох типів завдань: (що й було вдало застосовано нами при проведенні досліджень).



### 3.8 Польовий етап досліджень



На першому етапі використалися переносні прилади - шумомір і кишеньковий персональний комп'ютер (КПК), а також програмне забезпечення ArcPad 10. Пакет ArcPad - рішення для мобільних ГІС і польових обчислень, таких як створення звітів про виміри рівнів звукового тиску із просторовою прив'язкою (рис. 3.10).

По-перше, його треба встановити його на комп'ютер та на КПК (рис. 3.10). Для цього підключення КПК до настільного комп'ютера є обов'язковим.

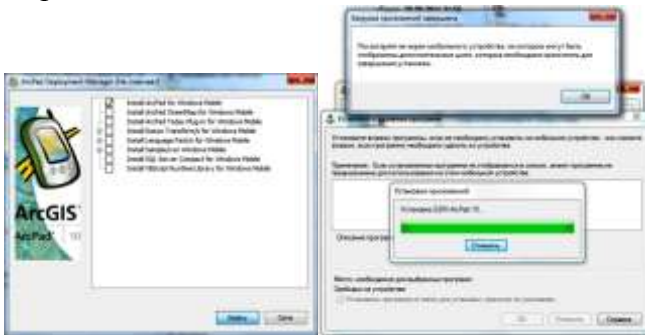


Рис. 3.10 – Встановлення ArcPad

Такі види завдань виконуються на переносних комп'ютерах (тих, що працюють під Microsoft Windows® CE або Pocket PC). Продукти ArcGIS Desktop й ArcGIS Engine сфальцьовані на польових завданнях, що вимагає виконання ГІС-аналізу й прийняття рішень.

Дослідник висувався в контрольну точку на місцевості, включав GPS-приймач КПК і по сигналах із супутника здійснював GPS-навігацію. Точні дані про місцезнаходження точки виміру усередині КПК *автоматично* передавалися в програму ArcPad для Pocket PC. В програмі для цього створювалася нова мапа (рис. 3.10.а)

Дані вносилися в спеціально створений шейп-файл (шейп-файл - файл спеціального формату для запису ГІС-інформації, підтримується як ArcGIS, так й іншими найпоширенішими ГІС-програмами) – рис. 3.10.б.



Рис. 3.11 – Ілюстрація з довідки програми ArcPad 10 з ілюстрацією її можливостей (від авторів програми). Далі ми покажемо застосування цих функцій до нашого випадку вимірів шуму й картографування шумового режиму



Рис. 3.12 – Початок роботи із ArcPad



Рис. 3.13 – Завантаження отриманих даних в майбутню базу геоданих

Створюваний шейп-файл має можливість вибору типу записуваних даних (рис. 3.14) та їх форми. Для цього слід налагодити його таким чином, щоб заносилася інформація про точкові об'єкти ("Type "Point" - рис. 3.14.а). В графі "Field" створюємо поле для занесення даних вимірів. Назвемо його SPL – (рис. 3.14.б). За замовченням створюване поле є текстовим. Тому пристосуємо

його для занесення даних виміру (кількості децибел) - рис. 3.14.в. А тепер зайдемо у відповідне меню ArcPad, що зветься GPS Position Window, і пристосоване для активізації системи GPS-навігації. Система забезпечує автоматичне зняття просторових координат в кожній точці вимірів за допомогою супутника.

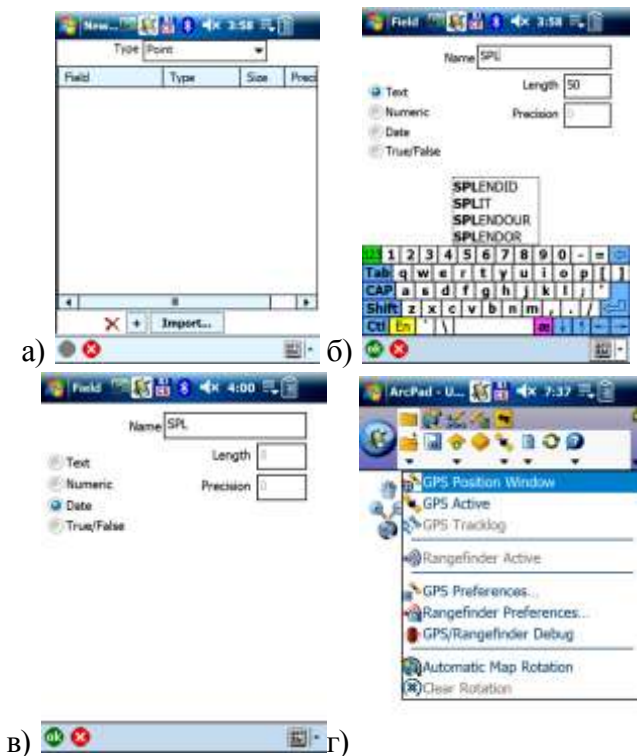


Рис. 3.14 – Налаштування шейп-файла

Таким чином, фіксація самих контрольних точок й їхня прив'язка до місцевості вимагають мінімальної участі людини.

Крім шейп-файлу із даними про просторове розміщення контрольних точок, одержаними в процесі вимірів за допомогою GPS-приймача КПК, маємо набір скріншотів, подібних

тому, що був зображений в якості зразка на рис. 3.1, із спектрами шуму, виміряними в кожній контрольній точці (рис. 3.15).



Рис. 3.16 – Набір спектрів шуму із даними вимірів (атрибутивні дані).

*Кількість таких вимірних спектрів, що храняться на нашому комп'ютері, (вважаючи на наш багаторічний досвід вимірювання), йде у нас вже на тисячі та десятки тисяч! Тому виникає важлива проблема – не потонути в бездонному морі інформації, не переплутати їх тощо*

Шейп-файл несе інформацію про просторове розташування контрольної точки на території (тобто схему розташування точок виміру на місцевості із прив'язкою до геодезичної системи координат, одержувану від GPS-навігатора) - (рис. 3.17-а), а також (створювані по розсуду експериментатора) поля для запису супутньої інформації. Все це представляється у вигляді "таблиці атрибутів" (термін ArcGIS) - (рис. 3.17-б).

Після цього залишається лише занести дані акустичних вимірів (показання шумоміра) у даній контрольній точці в один рядок таблиці шейп-файлу, розподіливши їх по відповідних графах.

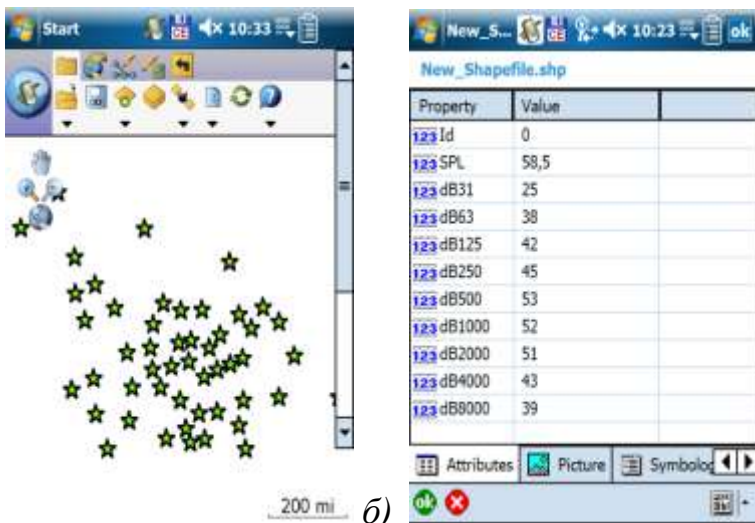


Рис. 3.17 - скріншоти з екрана КПК: а – В ArcPad внесені контрольні точки (трикутники) з даними вимірів; б – таблиця атрибутів (з даними про вимірний спектр шуму (той самий спектр, що на рис. 3.26) в одній із точок: точка умовно зареєстрована за Id=0)

Слід зазначити, що процедура визначення атрибутів шейп-файла не обов'язково пов'язана з його створенням. Оскільки шейп-файл повинен містити хоч би одне поле, в нього вже додано цілочисельне поле Id. Додаємо в шейп-файл необхідні поля, а потім можна видалити те поле, яке було додано за умовчанням.

Кількість можливих створюваних полів (тобто вертикальних колонок), ймовірно, все ж звичайно (точного значення автор не знайшов навіть в документації до програми), проте воно, ймовірно, величезне і явно перевищує усі мислимі потреби. Експериментатор сам створює потрібні йому поля. Для наших, акустичних цілей, очевидно, потрібно було створити щонайменше 10 полів (Рис. 3.17). Поле *SPL* (ще раз обумовлюємо - **назви полів встановлює сам експериментатор**) в нашій

таблиці атрибутів призначене для занесення значень рівнів звуку, дБА; поля *dB31*, *dB63*, *dB125*, *dB250*, *dB500*, *dB1000*, *dB2000*, *dB4000*, *dB8000* – для занесення рівнів звукового тиску, дБ в октавних смугах частот з середньо- геометричними частотами відповідно 31,5; 63; 125; 250 і 500 Гц; 1; 2; 4 і 8 кГц.

Якщо повернемося на самий початок монографії, де освітлені вимоги нормативних документів, то побачимо, що саме такі параметри стандартизовані в якості нормативних характеристик шуму.

В процесі натурних вимірів отримаємо заповнену таблицю атрибутів для кожної точки вимірів.

Процес натурних вимірів шуму дуже легкий в усіх відношеннях - характеризується украй низькою трудомісткістю і дуже високою мірою автоматизації, вимагає наявності приладів украй малої маси і розмірів (вага сучасних шумомірів і КПК вимірюється в грамах), і висуває невисокі вимоги до виробника вимірів : (лаборант може мати неповну середню освіту і має лише бути навчений поводженню з КПК і шумоміром).

Існує версія ArcPad 10 для настільних комп'ютерів і ноутбуків – див. рис. 3.18; однак, на нашу думку, вона недостатньо функціональна. Доцільне застосування цієї версії при використанні ноутбука (замість КПК) при реєстрації даних.

Проробивши необхідні виміри, переходимо до камерального етапу досліджень і переносимо дані в настільний комп'ютер. При цьому від програми ArcPad 10 (призначеної тільки для збору початкових відомостей – див. рис. 3.17), - й переходимо до програми ArcMap (використана версія 9.3.1), сумісної з ArcPad по форматі підтримуваних файлів і призначеної для детальної обробки даних у камеральних умовах.



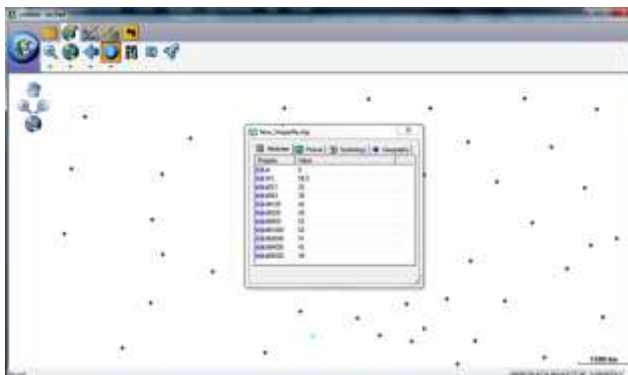


Рис. 3.18 – Ськріншот з екрана ноутбуку з розташуванням тих же самих точок виміру в програмі ArcPad. Еквівалент рис. 3.17. При тому поз. а й б з рис. 3.17 об'єднані – себто за допомогою команди «Identify» викликана таблиця атрибутів точки Id=0 із спектром шуму рис. 3.26. На КПК (рис. 3.17), в принципі, зроблено те ж саме, - але при обранні відповідної точки на рис. 3.17.а таблиця атрибутів рис. 3.17.б відкривається в окремому вікні, що заміняє вигляд екрану

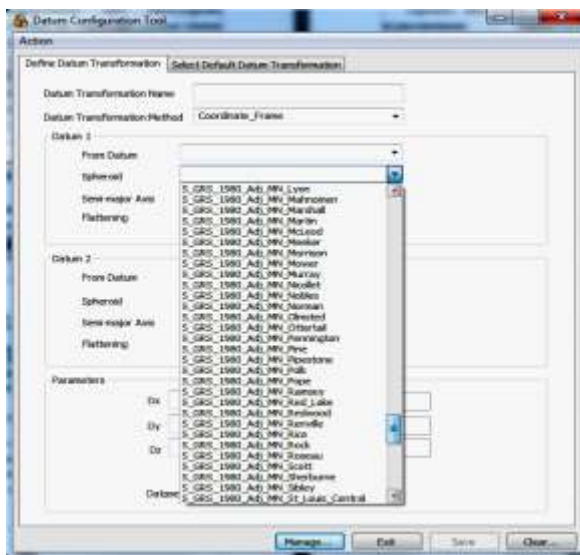


Рис. 3.19 – ArcPad також має свій власний інструментарій для корекції датуму



### 3.9 Камеральна обробка результатів: (початок))

#### 3.9.1 Створення теки та файлу проекту

Задля простоти пояснення створимо окремий проект та опишемо послідовність дій, здійснюваних при складанні карти шуму, (ілюструючи їх скріншотами, отриманими при виконанні окремих операцій). Створюємо теку для розміщення проекту, наприклад, *«Шум в Полтаві / Полтава-центр»* та розташовуємо в ній файли проекту. Поки що тека пуста; потім вона заповниться. В подальшому всі файли, пов'язані саме із цим проектом, будемо розташовувати саме в ній.

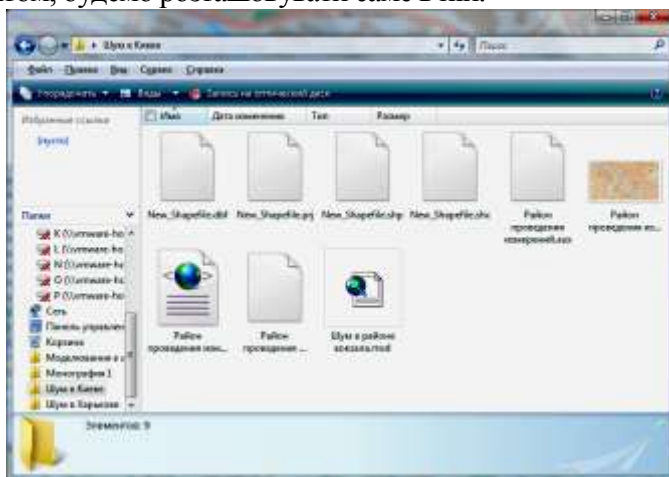


Рис. 3.20 – Ми поклали в створену теку карту місцевості *«Карта центральної частини Полтави»* і шейп-файл *«New\_Shapefile»*. Зверніть увагу на кількість додаткових допоміжних файлів (що складають вміст шейп-файлу)!

Запускаємо ArcMap<sup>1</sup>, та створюємо файл *«Шум в центрі Полтави.mxd»*. Завантажуємо туди, наприклад, докладну географічну карту місцевості, розташовану в файлі *«Карта центральної частини Полтави.TIF»* (команда *«Добавить данные»*).

<sup>1</sup> Додаток ArcMap використовується для виконання усіх робіт по картографуванню і редагуванню, а також для картографічного аналізу.

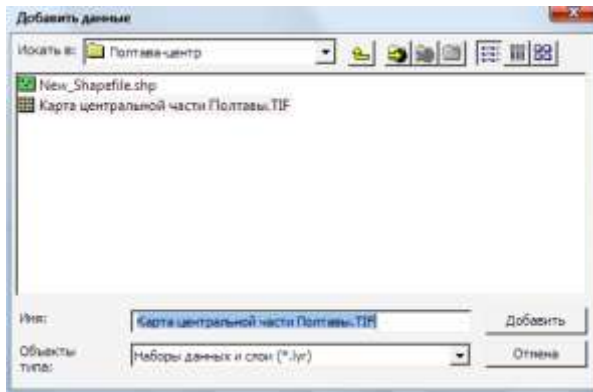


Рис. 3.21 – Карту місцевості додано в проект

Можуть виникнути проблеми, пов'язані із просторовою орієнтацією мапи (рис. 3.22.а). Ось тоді клацаємо правою кнопкою миші та обираємо «Свойства фрейма данных» (рис. 3.22.б). Отримуємо «Фрейм данных Свойства» (рис. 3.22.в), де встановлюємо просторову прив'язку, таку ж саму, як і в шейп-файлі (себто єдину задля всього проекту).

ArcMap - основний додаток ArcGIS Desktop для виконання усіх картографічних завдань, таких як створення і публікація карт, аналіз карт і редагування даних. У ArcMap є два способи перегляду карти: у вигляді географічних даних і у вигляді компонування. У вигляді географічних даних працюють з географічними шарами, визначають символи, проводять аналіз і компіляцію наборів даних ГІС. Інтерфейс таблиці змісту допомагає структурувати ГІС-дані по шарах у фреймі даних, управляти властивостями їх відображення. Вид даних - це вікно, в якому відображаються усі набори ГІС-даних на задану область. У вигляді компонування працюють із сторінками карт, що містять вид географічних даних і інші елементи карти, такі як легенда, масштабна лінійка, стрілка Півночі і оглядова карта. ArcMap використовується для розміщення карт з усіма необхідними елементами на сторінці для їх публікації і виводу на друк.

Задля нашого прикладу це наочно подано на рис. 3.23.

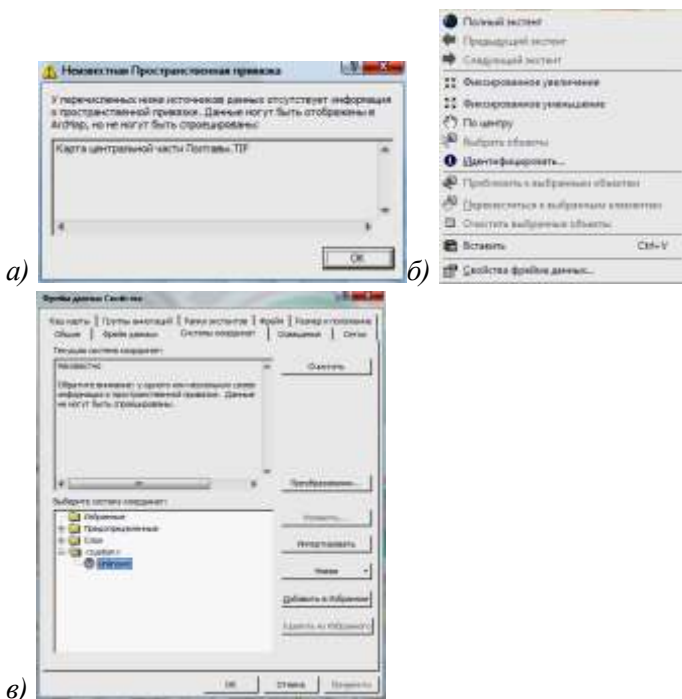


Рис. 3.23 – скріншоти з екрана: проблеми із просторовою прив'язкою та шляхи їхнього вирішення

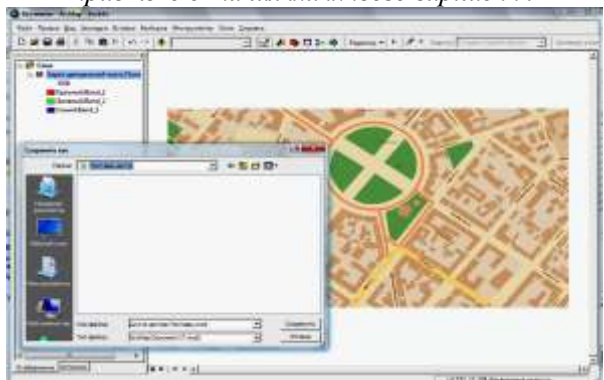
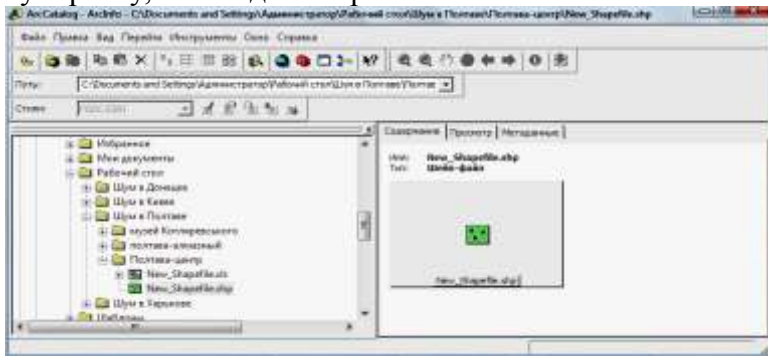


Рис. 3.23 – скріншот з екрана: фрагмент досліджуваної території м. Полтава (картографічна підоснова місцевості), загнаний в програму ArcGIS. Створюємо файл «Шум в центрі Полтавы.mxd»

Запускаємо ArcCatalog<sup>2</sup>, і бачимо в ньому приблизно ось таку картину, як наведена на рис. 3.24.



*Рис. 3.24 – Просторові дані проекту в ArcCatalog*

Додаток ArcCatalog допомагає структурувати і управляти усієї ГІС- інформацією, такий як карти, глобуси, набори даних, метадані і сервіси. Інструменти, що входять в нього, дозволяють:

- Переглядати і шукати географічну інформацію.
- Записувати, переглядати і управляти метаданими.
- Визначати, експортувати і імпортувати структуру і дизайн баз геоданих.
- Здійснювати пошук ГІС-даних по локальних мережах і через Web.
- Адмініструвати ArcGIS Server.

### **3.9.2 Про налаштування шейп-файлу**

Тепер пора переходити до шейп-файлу із даними вимірів (тому, що показаний на рис. 3.17). Слід розібратися із його полями для запису атрибутивної інформації (Рис. 3.25).

<sup>2</sup> Додаток ArcCatalog призначений для організації структури зберігання просторових даних і управління ними, для створення баз даних, а також для запису, перегляду і управління метаданими.

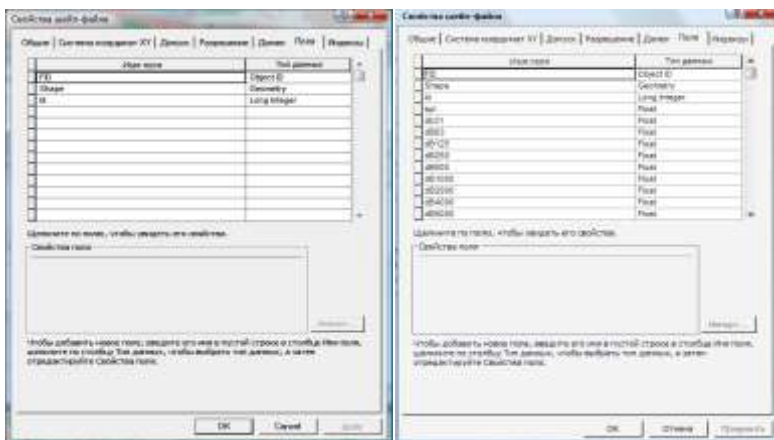


Рис. 3.25 – «Свойства шейп-файла»: до і після примусового визначення необхідних полів для запису спектрів шуму

Це робиться саме так. Клацають правою кнопкою миші на шейп-файлі в дереві Каталог ArcCatalog і вибирають пункт «Свойства». У діалоговому вікні, що відкрилося: «Свойства», - можна додати поле ідентифікатора для шейп-файла. Відкривають закладку «Поля». Клацають на наступному порожньому рядку в стовпці «Імя поля» і вводять ім'я поля ідентифікатора. Клацають в стовпці «Тип даних» поряд з ім'ям нового поля і встановлюють його тип даних. Клацають на списку «Свойства поля» і вводять для нього потрібні властивості. Повторюють вищезгадані кроки, поки усі поля шейп-файла не будуть визначені належним чином.

Поля FID, і ID відповідають за нумерацію точок - (до речі, вона подвійна). Навіщо потрібна подвійна нумерація? Напевно, в шейп-файлі досить мати всього одне поле FID з ідентифікатором серії цих вимірів саме в цій точці. Тому про поле ID – див. вище: (його можна видалити, а можна й не видаляти). Поле Shape визначає тип об'єкту (тобто означає, що це саме точка вимірів). Інші створені самостійно автором для своїх акустичних цілей.

Отримані атрибутивні дані у вигляді спектрів шуму (набір яких наданий, наприклад, на рис. 3.16) заносяться у відповідні поля шейп-файлу. На рис. 3.26 показаний один такий вимірний спектр та відповідність його даних до еквівалентних полів створеного шейп-файлу.

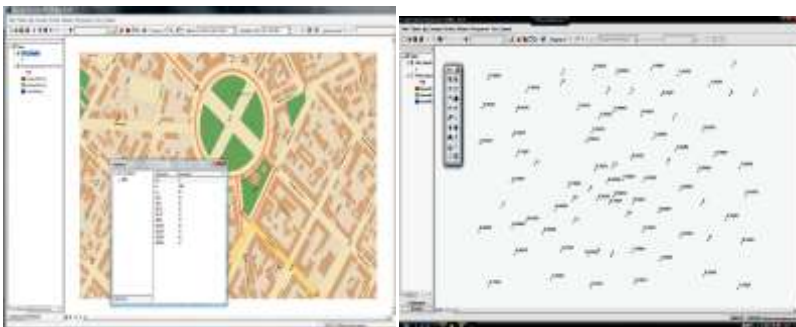


*Рис. 3.26 – Спектр шуму, узятий із шумоміру; і його запис в шейп-файлі*

Сукупність таких точок на топографічній підоснові надана на рис 3.27.



*Рис. 3.27 – Ськріншот проекту в ArcMap. Те ж, що рис. 3.23, але із розташуванням контрольних точок. За допомогою команди «Ідентифіцировать» обрана точка Id=3989 з рис. 3.26*



*Рис. 3.28 – Скріншот проекту в ArcMap. Те ж, що рис. 3.27, але зображення карти місцевості відключене, а до кожного місця розташування точок виміру надане відповідне йому значення рівнів звуку*

На рис. 3.17.б представлені атрибути (виміряні спектри шуму) тільки для однієї точки. На рис. 3.29 значення усіх атрибутів (усі виміряні спектри шуму для усіх точок, показані вище) об'єднані в одну загальну єдину таблицю.

Приділимо більше уваги заповненій таблиці атрибутів шейп-файлу, зовнішній вигляд якої представлений на рис. 3.29.

Кожній точці виміру відповідає один рядок у такій таблиці атрибутів.

Поле FID відповідає за нумерацію точок. Поле Shape\* визначає тип об'єкта (тобто означає, що це саме точка вимірів). Інші створені самостійно автором для своїх акустичних цілей. Перші два значення (у перших двох стовпчиках) у верхній строчці (тобто, наприклад, FID = 1, та Shape\* = Точка) розшифровується не інакше, як «перша контрольна точка», а інші – спектр шуму в цій точці. Тобто це є дані з рис. 3.17.б та рис. 3.26. Поле Id, як говорилося вище, потребувалося для ArcPAD, і зараз його можна видалити. Поле SPL містить інформацію про рівень звуку, дБА в кожній контрольній точці; поля "dB31"... "dB8000" – інформацію про рівні звукового тиску у відповідних полосах частот із середньо геометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.



Атрибути New_Shapefile													
	FID	Shape *	Id	spl	dB21	dB63	dB126	dB250	dB500	dB1000	dB2000	dB4000	dB8000
1	0	Точка	3989	65	34	38	49	52	52	56	54	48	45
2	3	Точка	3992	68	30	36	48	60	62	57	60	57	56
3	5	Точка	3994	67	26	40	43	56	60	60	58	51	60
4	6	Точка	3995	71	38	50	57	57	59	57	56	54	50
5	9	Точка	3998	66	23	31	45	50	54	59	60	54	47
6	14	Точка	4003	67	24	39	46	48	51	57	51	48	44
7	22	Точка	4012	72	20	38	54	57	59	61	64	65	63
8	27	Точка	4017	66	35	42	49	48	49	50	48	47	44
9	29	Точка	4019	70	34	49	52	58	58	54	52	48	44
10	35	Точка	4027	69	34	47	53	54	61	57	50	48	42
11	41	Точка	4033	66	33	42	46	50	53	61	53	51	40
12	47	Точка	4040	68	35	38	56	57	53	53	54	53	52
13	49	Точка	4042	68	23	38	49	58	62	59	60	59	58
14	31	Точка	4021	69	37	42	46	56	58	60	56	47	45
15	12	Точка	4001	71	18	38	47	48	51	50	50	55	48
16	19	Точка	4008	81	35	56	53	43	47	52	56	58	54
17	38	Точка	4020	68	38	44	48	53	58	61	59	47	45
18	24	Точка	4015	67	34	46	50	48	55	55	48	45	45
19	10	Точка	3999	63	37	45	49	56	60	54	53	52	49
20	34	Точка	4025	70	34	44	51	57	59	62	57	49	46
21	27	Точка	4029	66	32	42	46	58	57	53	48	43	48
22	33	Точка	4023	71	31	44	48	54	56	59	59	46	44
23	18	Точка	4007	68	34	37	44	60	68	63	59	58	57
24	8	Точка	3997	66	21	36	42	62	58	59	58	55	59
25	44	Точка	4037	65	30	38	46	60	54	50	45	42	45
26	39	Точка	4031	71	35	43	62	67	70	59	54	49	44
27	46	Точка	4039	65	38	38	46	48	53	48	47	46	44
28	15	Точка	4004	67	33	42	47	48	54	58	54	48	44
29	2	Точка	3991	81	36	43	45	58	61	59	59	45	44
30	26	Точка	4016	71	35	40	45	59	64	59	52	49	48
31	25	Точка	4015	68	35	41	52	54	59	57	58	52	54
32	28	Точка	4018	63	38	48	50	49	54	53	55	49	49
33	32	Точка	4022	71	35	42	46	48	56	60	57	54	58
34	36	Точка	4028	68	32	44	56	60	60	58	59	55	48
35	13	Точка	4002	73	28	30	41	51	53	53	51	49	45
36	20	Точка	4009	71	17	38	42	49	51	63	60	57	60
37	16	Точка	4005	78	20	37	43	45	58	58	61	57	61
38	42	Точка	4034	67	36	43	48	63	68	65	61	54	44
39	23	Точка	4013	70	36	48	58	55	54	50	54	48	64
40	11	Точка	4000	68	38	47	55	52	51	52	49	58	60
41	1	Точка	3990	68	35	37	48	62	63	60	61	60	59
42	4	Точка	3993	68	37	45	47	50	50	57	54	49	46
43	43	Точка	4036	69	37	46	49	49	52	49	48	42	45
44	7	Точка	3996	67	34	45	51	53	54	58	54	51	53
45	21	Точка	4010	68	18	32	54	68	60	60	59	58	59
46	17	Точка	4006	83	38	54	55	54	56	63	54	55	54
47	40	Точка	4032	66	38	43	44	49	53	51	49	47	49
48	45	Точка	4038	66	25	40	48	57	61	59	57	53	48
49	38	Точка	4030	72	21	34	44	58	65	66	65	56	65
50	48	Точка	4041	61	35	42	44	54	56	54	54	49	44

Рис. 3.29 – Усі виміряні спектри шуму - загальна таблиця атрибутів.  
Якщо уважно придивитись, то тут можна знайти нашу стару  
знайому: точку з Id=3989, яку ми вже бачили на рис.3.17, 3.18, 3.26,  
3.27 – її дані йдуть другим рядком під FID=1

Усім зрозуміло, що шум в нічний час в одній і тій точці украй  
сильно відрізняється від шуму в денний час. Якщо є в тому необ-  
хідність, можна створити не 10, а 20 полів (позначивши їх, на-



приклад, "dB31". "dB8000" і просто "31". "8000". Одні відносяться до денних вимірів, а інші - до нічних. Можна зробити будь-яку кількість полів.

### **3.10 Створення бази геоданих, векторизація растрових зображень**

Але карта місцевості, наведена на рис. 3.23, зовсім не застосовна для подальшого використання. Її можна тільки якось задіяти в якості допоміжної підкладки на ранніх етапах проекту. Растри використовуються тільки для подання безперервних шарів. Потребується приведення проекту до такого вигляду, що підлягає обробці, тобто векторизація.

Векторні просторові об'єкти (географічні об'єкти з векторною геометрією) досить універсальні. Вони часто використовуються для відображення географічної інформації, добре підходять для представлення об'єктів з чітко вираженими межами, таких як бурові свердловини, вулиці, річки, одиниці адміністративного ділення і земельні ділянки. Просторовий об'єкт - це будь-який об'єкт з конкретним місцем розташування, що зберігається як одна з його властивостей (полів) в таблиці атрибутів. Зазвичай такі об'єкти представляються в географічному просторі точками, лініями, полігонами, або у вигляді анотацій і організовані як класи об'єктів. Класи просторових об'єктів є колекціями об'єктів одного типу із загальним просторовим представленням і набором атрибутів (наприклад, клас лінійних об'єктів для автодоріг).

На початок створюємо базу геоданих (файлову чи персональну), розташовуючи її в тій же самій теці.

База геоданих - скорочення від географічної бази даних - це базова модель географічної інформації для організації даних ГІС у тематичні шари й просторові подання. Вона містить набори прикладної логіки й інструментів для звертання до ГІС-даних і керування ними. База геоданих є фізичним сховищем даних для ГІС і СУБД, і створена як відкрита модель зберігання елементарної геометрії (геометричних примітивів).



Бази геоданих працюють із багатьма платформами СУБД, можуть бути різного розміру й обслуговувати різну кількість користувачів. По своїй архітектурі існує два типи бази геоданих: вони можуть бути персональними або мати багато користувачів.

Персональні бази геоданих оптимальні для роботи з невеликими наборами даних окремих ГІС-проектів і нечисленних робочих груп. Звичайно користувачі застосовують кілька персональних баз геоданих для збору своїх даних й одночасно використовують їх при роботі з ГІС. Наприклад, для кожного з наших окремих проектів (див. наступний розділ) ми створювали свою окрему персональну базу геоданих. Персональні бази геоданих підтримують тільки однокористувальницьке редагування.

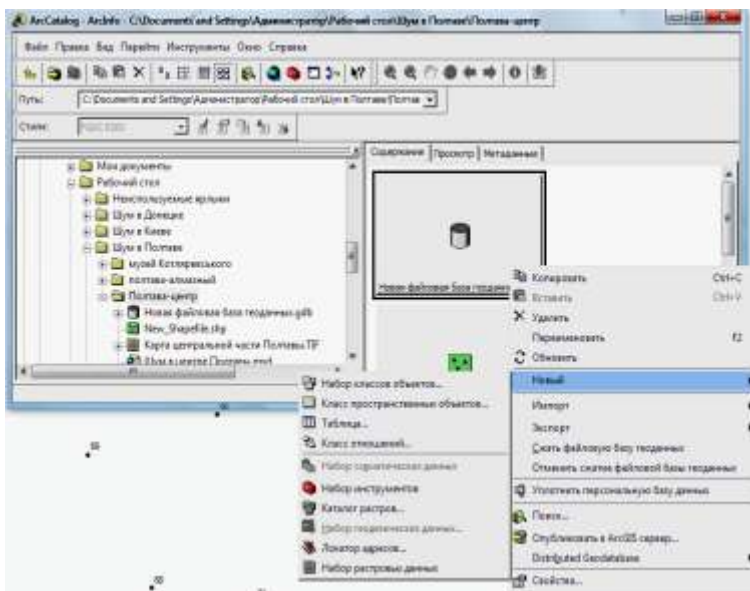


Рис. 3.32 – Створення нового окремого набору класів об'єктів для зберігання даних усередині бази геоданих

В нашому випадку ми обираємо назву створеного нами

набору «Векторные\_элементы\_карты\_шума». Справа в тому, що дані безпосередніх вимірів (тобто спектри шуму) можуть зберігатися не тільки в шейп-файлі, - а, скажемо в цій же базі геоданих. Можна створити окремий відповідний набір класів об'єктів замість шейп-файлу тощо. Можна імпортувати дані шейп-файла всередину бази геоданих, та робити з ними інші маніпуляції.

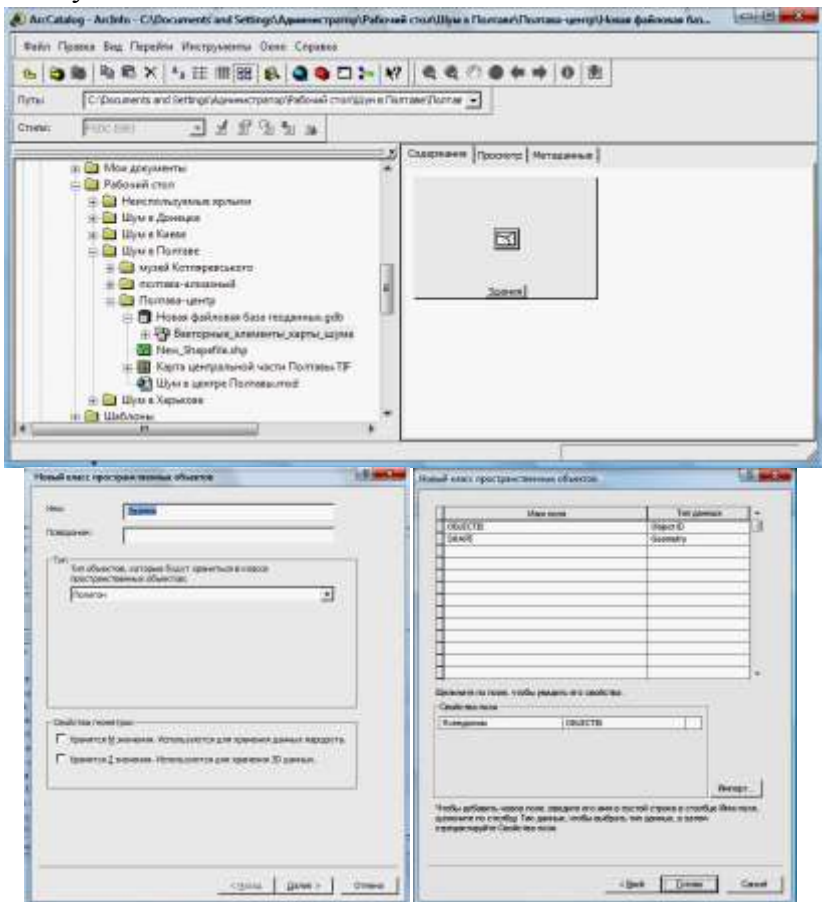


Рис. 3.33 – Всередині створеного набору класів об'єктів для зберігання даних векторизації створюємо нові класи просторових об'єктів

1. Треба клацнути правою кнопкою миші на базі геоданих в дереві ArcCatalog, де потребується створити новий клас об'єктів; маршрутів, обрати «Новый» і натиснути «Класс пространственных объектов».

2. Вводять ім'я нового класу. Задають також псевдонім для цього класу об'єктів.

3. Обирають опцію «Тип объектов, которые будут храниться в классе пространственных объектов».

4. Натискають «Next»

5. Добавляють нові поля, якщо це необхідно, та жмуть на «Готово».

Після цього можна приступати до роботи із ArcMap.

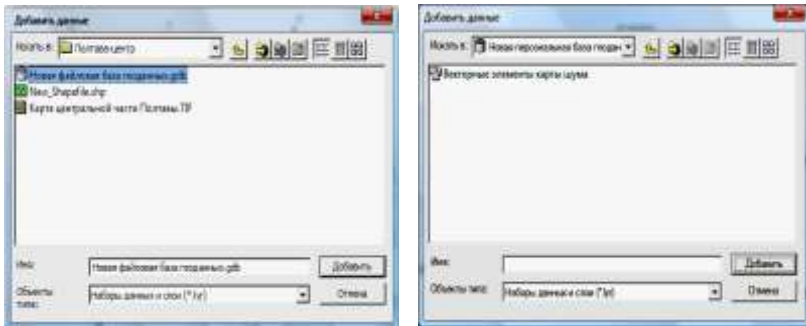


Рис. 3.34 – Поперед усе, необхідно додати об'єкти бази геоданих в проект

Потім приступають безпосередньо до роботи із ArcMap.

Обробка геофізичної інформації (створення карти досліджуваного району у векторному виді – рис. 3.34) уже закінчене. Додавимо значення вимірюваних рівнів.



*Рис. 3.35 – Те ж саме, що рис. 3.23, але вже тільки після векторизації. Непотрібні елементи вилучені. Тобто схема 3.35 вже є вихідною для усіх подальших маніпуляцій*





*Рис. 3.36 - Тепер на векторній карті у вигляді окремого шару накладені дані про розташування точок вимірів й обмірювані рівні звукового тиску в них (зіставте з рис. 3.27).*

### 3.11 Відбиття нормативних значень на майбутній карті шуму

В якості нормативних значень обираємо дані таблиці 1 СНиП II-12-77 [12] (раніше наведений в цій книзі у вигляді таблиці 1.1, Поз. 5).

*Таблиця 1.1 в повторі (фрагмент)*

5. Території, безпосередньо прилеглі до житлових будинків (у 2 м від конструкцій, що огорожують), майданчики відпочинку мікрорайонів і груп житлових будинків, майданчики дитячих дошкільних установ, ділянки шкіл	67	57	49	44	40	37	35	33	45
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Ці дані повинні бути скориговані за табл. 2 СНиП II-12-77 [12] (тобто згідно табл. 1.2 цієї книги).

*Таблиця 1.2 в повторі (фрагмент)*

Місце розташування об'єкту	Житлова забудова, що розташована у існуючій забудові (що склалася)	+5
Час доби	День –с 7 до 23 годин	+10

В результаті отримуємо значення, розраховані із врахуванням конкретних умов району вимірів.

*Таблиця 3.1 - Нормативні значення рівнів звуку й звукового тиску*

Приміщення і території	Рівні звукового тиску $L$ (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{\text{экв}}$ ) у дБ в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами в Гц								Рівні звуку $L_A$ й еквівалентні рівні $L_{A\text{экв}}$ в дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Нормативні значення для даного випадку	82	72	64	59	55	52	50	48	60

Як вже відзначалося, карта шуму - це фрагмент генерального плану території, що є топографічною підосною з нанесеними на неї зонами акустичного комфорту і акустичного дискомфорту. Графічне відображення точок з однаковими акустичними характеристиками, сполучених між собою ізолініями рівного рівня, дозволяє відобразити зашумовані зони на території.



Графічне представлення карти шуму відіграє важливу роль у сприйнятті інформації. Конкретних вимог до оформлення карт шуму, (за винятком головної вимоги сполучати усі точки з однаковим значенням ізолініями), на жаль, не існує. У той же час кольорова шкала умовних позначок для карти шуму може ґрунтуватися на типах їх зонування за фактором перебільшення нормативних значень, а розміри точкових значків для позначення контрольних точок на місцевості можуть бути пов'язані з їхніми рівнями звуку.

Нами уперше було запропоновано відображувати ці зони в їх кольорному оформленні за "принципом світлофора": зони акустичного комфорту з рівнями, що не перевищують нормативні, виділяються зеленим кольором: (тобто з урахуванням особливостей психологічного сприйняття людини - "зелений колір - нормально, цілком допустимо"; зони граничних значень (значення по нормі чисельно співпадають з вимірними або вичисленими на території значеннями) виділяються жовтим кольором: ("жовтий колір - увага"); зони акустичного дискомфорту з рівнями, що перевищують нормативні, виділяються червоним кольором: ("червоний колір - символ заборони – небезпека, неприпустимо"). Така кольорова гамма інтуїтивно найбільш оптимальна для адекватного сприйняття представленої інформації. Таке подання, між іншим, неявно було запрограмоване ще в [22], де на с. 6 написано наступне: *«Карты шума должны изготовляться в черно-белом изображении. По заданию заказчика карты шума могут быть изготовлены также и в цветном изображении с учётом необходимости лёгкого восприятия измерений уровней звука на улицах и дорогах...»*

Графічну інтерпретацію таблиці 3.1 надано на рис. 3.37. Тут ми можемо бачити «принцип світлофора» в дії – кожному діапазону значень спектрів надано відповідний колір. Підбір величин діапазонів та їхніх граничних значень виконано з врахуванням конкретних спектрів шуму, наданих в таблиці атрибутів, яка наведена на рис. 3.29.



Рис. 3.37 – Умовні позначення до наступних карт шуму

На рис. 3.38 наведена побудована за вимірними значеннями (тобто за даними рис. 3.29) карта шуму досліджуваного району, що характеризує розподіл рівнів звуку, виражених у дБА. На наступних ілюстраціях представлено ще 9 карт шуму, кожна з яких побудована для розподілу шуму в кожній зі стандартизованих октавних смуг частот зі середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 1000; 2000; 4000; і 8000 Гц. Для зменшення кількості ілюстрацій на всіх ілюстраціях представлений тільки шум у денний час.



*Рис. 3.38 – Полтава, центр: Корпусний сад, вул. Пушкіна, Фрунзе, Леніна, Жовтнева та ін.: а) аерофотознімок; б) фото (Корпусний сад); в) тривимірна візуалізація в Google Earth*



*Рис. 3.38 – Карта шуму досліджуваного району (побудовано за показником: рівень звуку, дБА)*





*Рис. 3.39 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 31,5 Гц)*



*Рис. 3.40 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 63 Гц)*



*Рис. 3.41 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 125 Гц)*



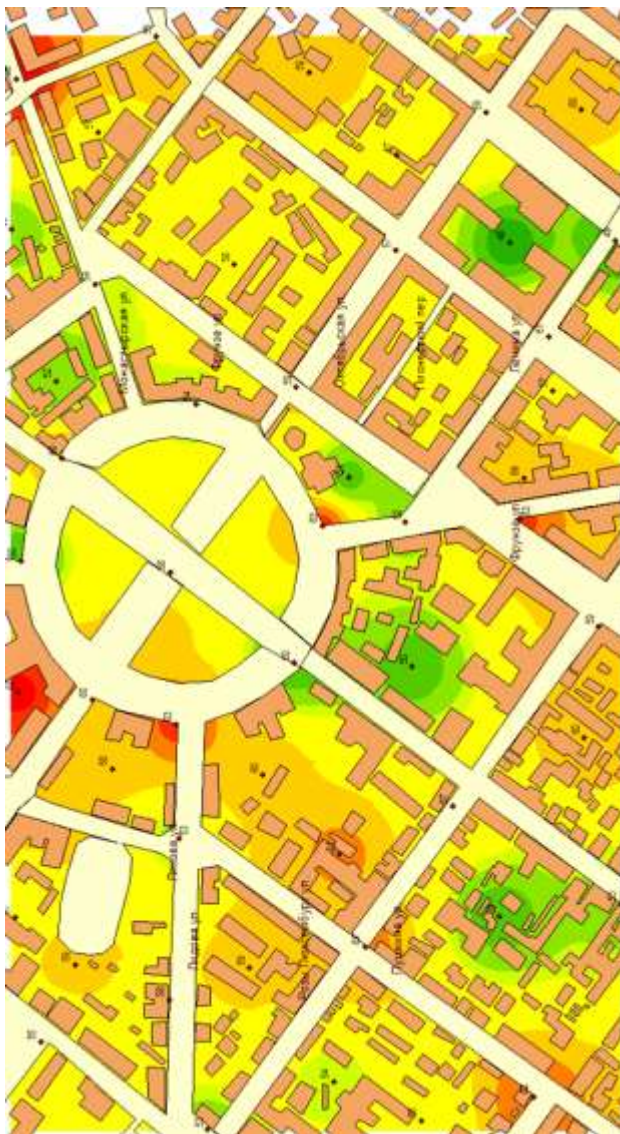


*Рис. 3.42 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 250 Гц)*





*Рис. 3.43 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 500 Гц)*



*Рис. 3.44 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 1000 Гц)*



*Рис. 3.45 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 2000 Гц)*





*Рис. 3.46 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 4000 Гц)*



*Рис. 3.47 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 8000 Гц)*

## **Частина 4. ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ІЗ КАРТОГРАФУВАННЯ ШУМОВОГО РЕЖИМУ**

### **4.1 Натурні дослідження шумового режиму на іншій території центральної частини м. Полтава**

Для дослідження нами була вибрана ділянка території м. Полтава, розташована в центральній частині (рис. 4.1).



*Рис. 4.1 – Досліджувана ділянка на карті м. Полтава  
(ситуаційний план)*

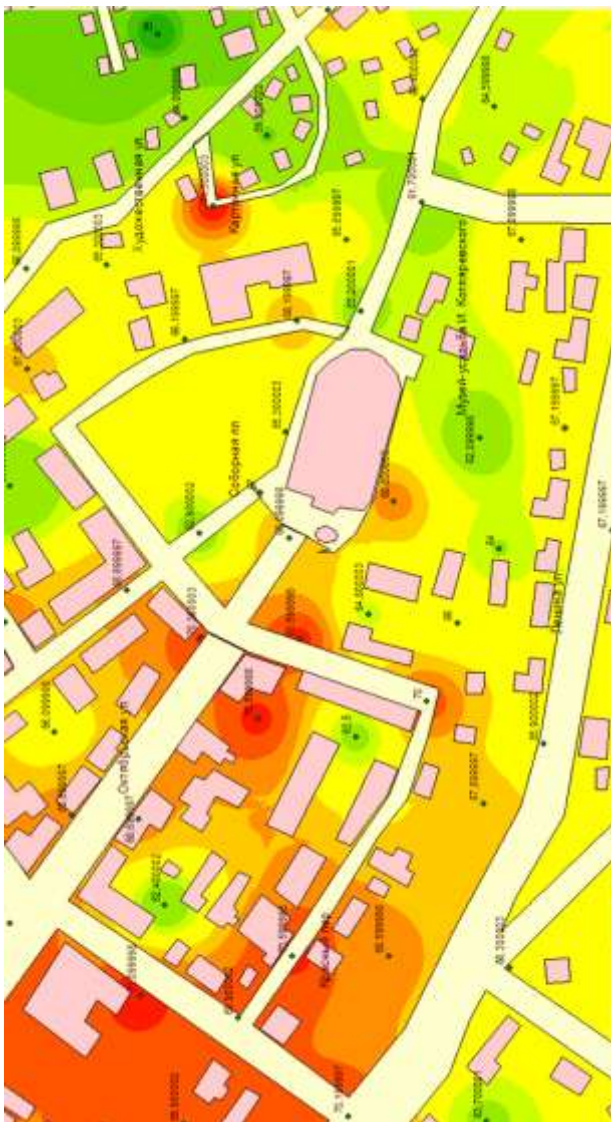
Містобудівна ситуація була узята з карти м. Полтава і коригована з урахуванням реальних візуальних спостережень і обмірів на місцевості. Вона послужила підосновою карти шуму (див. рис. 4.2). На рис. 4.2 також показані розташування контрольних точок на місцевості і виміряні в них нами спектри шуму (авторські дані).

Подальші ілюстрації містять кінцевий результат дослідження у вигляді побудованої нами карти розподілу шуму на зазначеній ділянці.





*Рис. 4.2 - Картографічна підоснова ділянки нашого дослідження з даними натурних вимірів*



*Рис. 4.3 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звуку в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звуку  $L_A = 60$  дБА.*





*Рис. 4.4 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогометричною частотою 31,5 Гц у контрольних точках, дБ.*



Рис. 4.5 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогометричною частотою 63 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску

$$L_{63}=82\text{ дБ.}$$



Рис. 4.6 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогометричною частотою 125 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень  $L_{125}=72$  дБ.



*Рис. 4.7 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогометричною частотою 250 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень  $L_{250}=64$  дБ.*



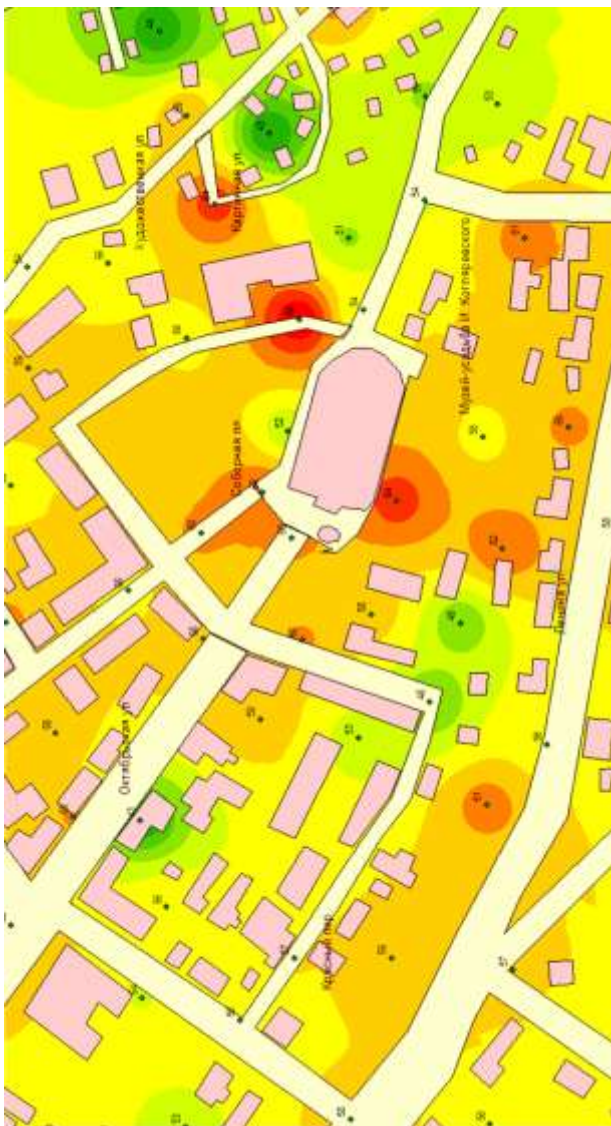


Рис. 4.8 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 500 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень  $L_{500}=59$  дБ.



Рис. 4.9 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогометричною частотою 1000 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень  $L_{1000}=55$  дБ.



Рис. 4.10 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогометричною частотою 2000 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень  $L_{2000} = 52$  дБ.



Рис. 4.11 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 4000 Гц у в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень  $L_{4000}= 50$  дБ.





*Рис. 4.12 – Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 8000 Гц у в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень  $L_{8000}=48$  дБ.*

У даному дослідженні використані нормативні значення параметрів шуму згідно п. 5 таблиці 1 СНиП II-12-77 [12] з виправленнями на місце розташування об'єкта й на час доби. Одержуємо нормативи, зазначені в табл. 4.1

*Таблиця 4.1 - Нормативні значення рівнів звуку й звукового тиску*

Приміщення й території	Рівні звукового тиску $L$ (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{\text{экв}}$ ) у дБ в октавних смугах частот зі середньогометричними частотами, Гц								Рівні звуку $L_A$ й еквівалентні рівні звуку $L_{A\text{экв}}$
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Нормативні значення	82	72	64	59	55	52	50	48	60

Висновки по дослідженню даної ділянки території:

1. Значна частина досліджуваної ділянки знаходиться в зоні акустичного дискомфорту, що характеризується значним перевищенням рівнів звуку над допустимими значеннями як на прибудинковій території, так і усередині будівель.

2. Існуючі заходи щодо боротьби з шумом не забезпечують належний рівень акустичної безпеки.

3. Досліджувана ділянка вимагає значного втручання в плані активного застосування шумозахисних заходів.

#### **4.2 Виміри шуму і розподіл шумового забруднення на території Жовтневого району м. Полтава**

Окрім досліджень шумового режиму на вказаних територіях, було виконано також акустичні виміри на іншій території м. Полтава. Це – так званий Жовтневий район, мікрорайон Алмазний, Автовокзал та ін. прилеглі території.

У даному випадку використані нормативні значення параметрів шуму згідно п. 5 таблиці 1 СНиП II-12-77 [12] з виправленнями на місце розташування об'єкта й на час доби.

Одержуємо нормативи, зазначені в табл. 4.1.



*Рис. 4.13 – Топографічна підоснова місцевості*

На рис. 4.14 наведена карта шуму досліджуваного району, що характеризує розподіл рівнів звуку, виражених у дБА. На наступних ілюстраціях представлено ще 9 карт шуму, кожна з яких побудована для розподілу шуму в кожній зі стандартизованих октавних смуг частот зі середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 1000; 2000; 4000; і 8000 Гц.



*Рис. 4.14 – Карта шуму досліджуваного району (побудовано за показником: рівень звуку, дБА)*



*Рис. 4.15 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 31,5 Гц)*





*Рис. 4.16 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 63 Гц)*



*Рис. 4.17 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 125 Гц)*



*Рис. 4.18 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньгеометричною частотою 250 Гц)*





*Рис. 4.19 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 500 Гц)*



*Рис. 4.20 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 1000 Гц)*



*Рис. 4.21 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 2000 Гц)*



*Рис. 4.22 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 4000 Гц)*





*Рис. 4.23 – Карта шуму того ж району (побудовано за показником: рівень звукового тиску, дБ в октавній смузі частот зі середньогометричною частотою 8000 Гц)*

### 4.3 Виміри шуму і розподіл шумового забруднення на рекреаційній території м. Полтава

Інша серія наших вимірів була проведена на півночі міста.



Рис. 4.24 – Підоснова місцевості



Далі надані карти шуму, побудовані по даним наших натурним вимірів.



Рис. 4.26 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звуку в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звуку  $L_A = 60$  дБА



Рис. 4.27 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 31,5 Гц у контрольних точках, дБ





Рис. 4.28 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 63 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 63 Гц  $L_{63}= 82$  дБ



Рис. 4.29 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 125 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 125 Гц  $L_{125}= 72$  дБ



Рис. 4.30 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 250 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 250 Гц  $L_{250} = 64$  дБ



Рис. 4.31 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 500 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 500 Гц  $L_{500} = 59$  дБ

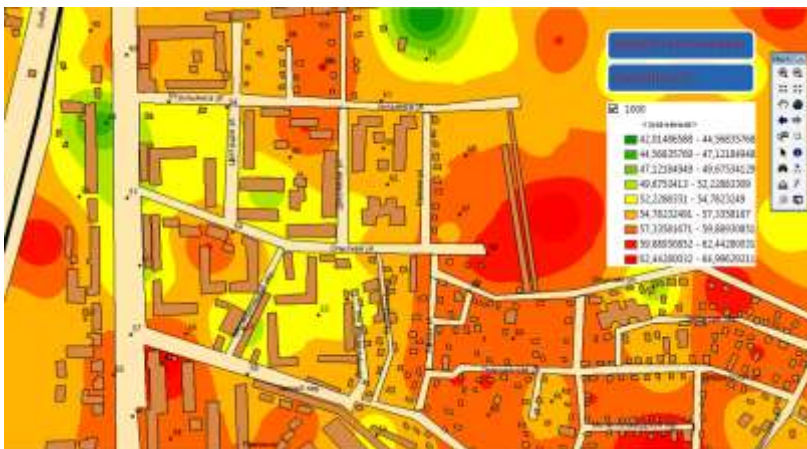


Рис. 4.32 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 1000 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 1000 Гц  $L_{1000} = 55$  дБ



Рис. 4.33 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 2000 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 2000 Гц  $L_{2000} = 52$  дБ





Рис. 4.34 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 4000 Гц у в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 4000 Гц

$$L_{4000} = 50 \text{ дБ}$$



Рис. 4.35 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 8000 Гц у в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 8000 Гц

$$L_{8000} = 48 \text{ дБ}$$

#### 4.4 Виміри шуму і розподіл шумового забруднення на рекреаційній території

Район попередніх вимірів показано на рис. 4.36.



Рис. 4.36 – Тримірна візуалізація, «Google Earth»

Таблиця 4.2 - Нормативні значення рівнів звуку й звукового тиску згідно п. 5 таблиці 1 СНуП II-12-77 [12] з виправленнями на місце розташування об'єкта й на час доби

Приміщення й території	Рівні звукового тиску $L$ (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{\text{экв}}$ ) у дБ в октавних смугах частот зі середньгеометричними частотами (надалі – $f$ ), Гц								Рівні звуку $L_A$ й еквівалентні рівні звуку $L_{A\text{экв}}$ у дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Нормативні значення	62	52	42	39	35	32	30	28	40

Далі надані карти шуму, побудовані за даними наших натурних вимірів.



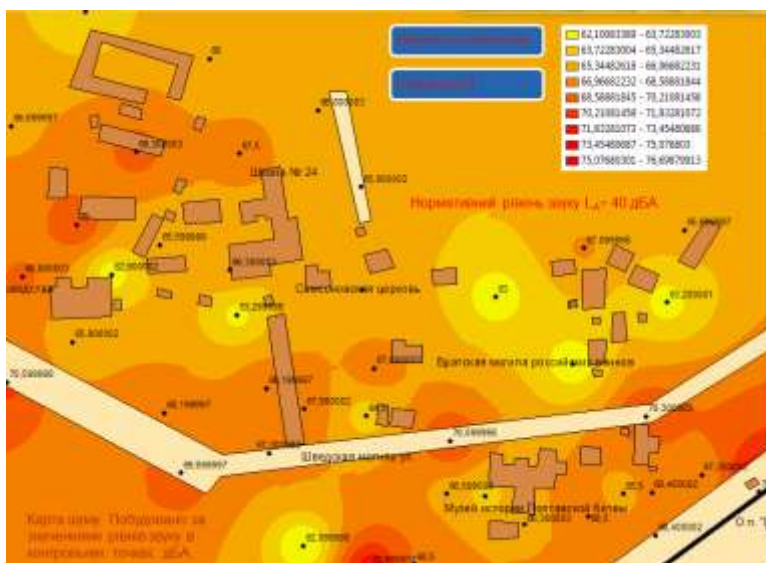


Рис. 4.38 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звуку в контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звуку  $L_A = 40$  дБА

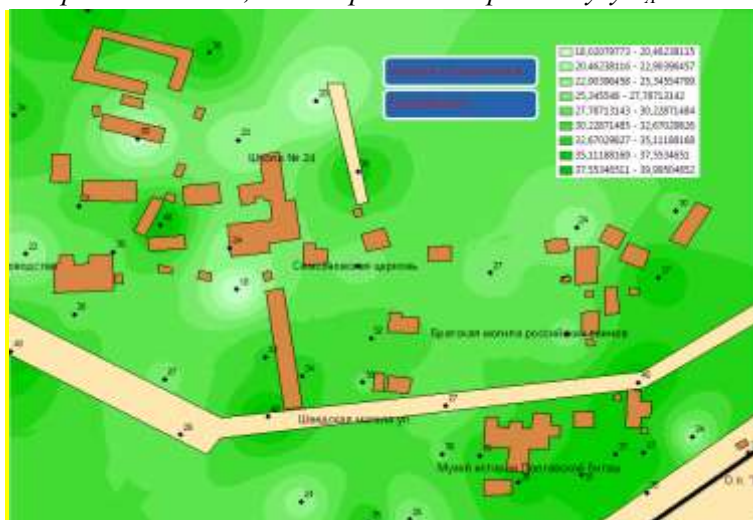


Рис. 4.39 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 31,5 Гц у контрольних точках, дБ





Рис. 4.40 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 63 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 63 Гц  $L_{63} = 62$  дБ



Рис. 4.41 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 125 Гц у контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 125 Гц  $L_{125} = 52$  дБ



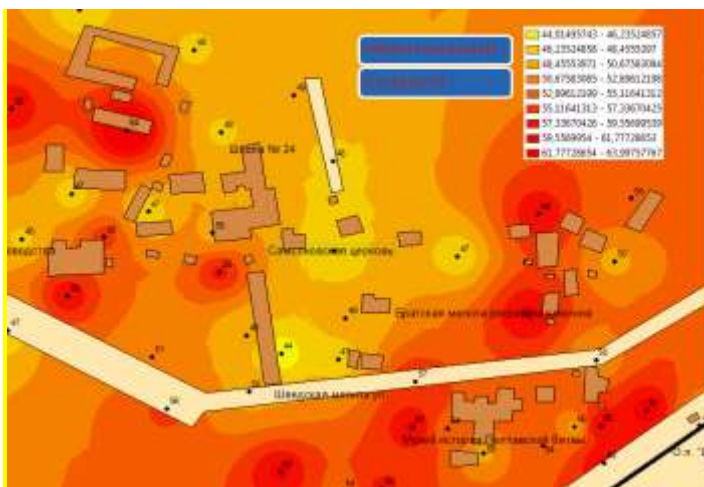


Рис. 4.42 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 250 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 250 Гц  $L_{250}=42$  дБ

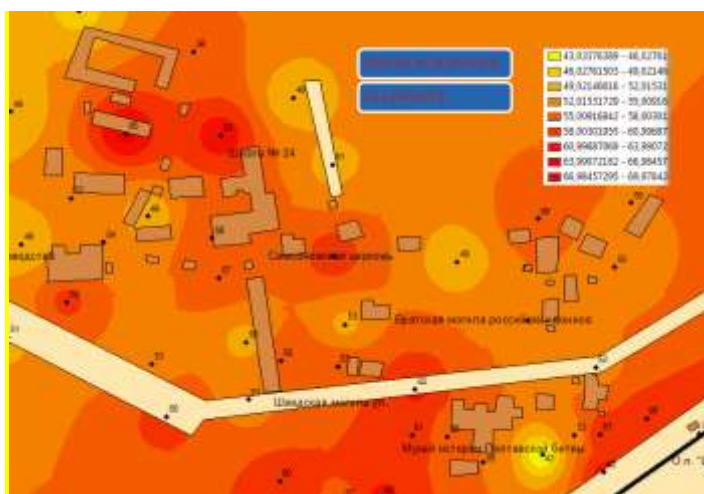


Рис. 4.43 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 500 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 500 Гц  $L_{500}=39$  дБ

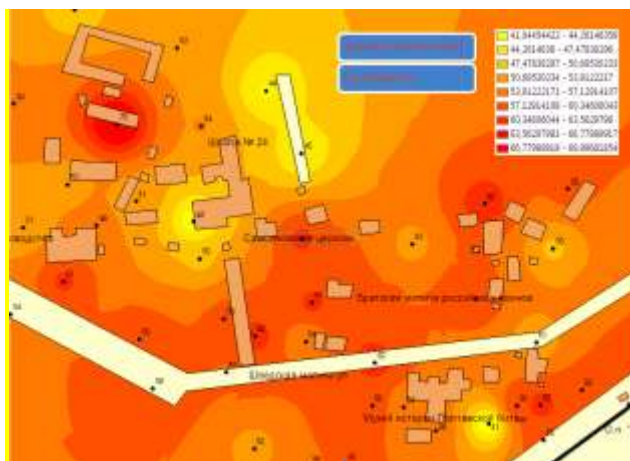


Рис. 4.44 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогогеометричною частотою 1000 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньогогеометричною частотою 1000 Гц  $L_{1000} = 35$  дБ

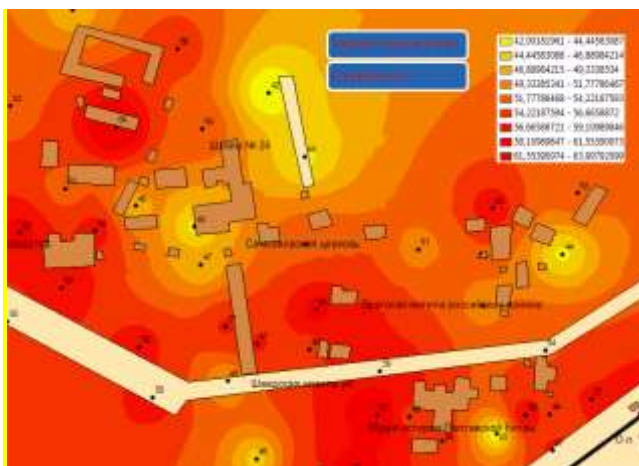


Рис. 4.45 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньогогеометричною частотою 2000 Гц у в контрольних точках, дБ. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньогогеометричною частотою 2000 Гц  $L_{2000} = 32$  дБ

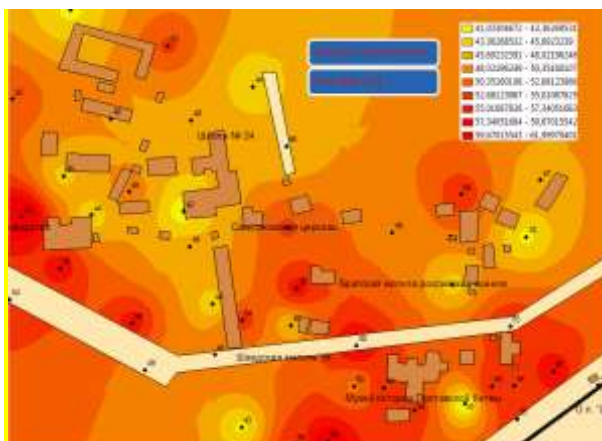


Рис. 4.46 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 4000 Гц у контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 4000 Гц  $L_{4000} = 30$  дБ

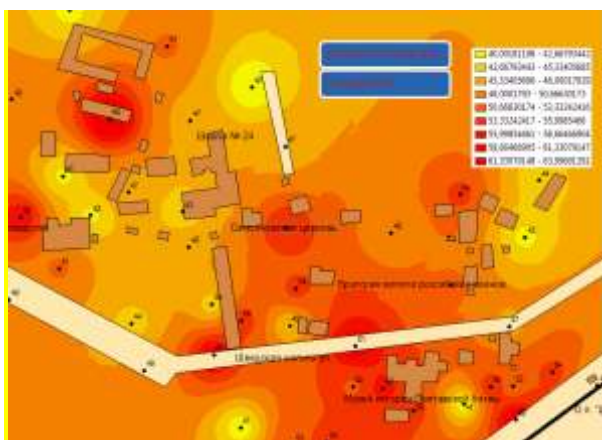


Рис. 4.47 - Карта шуму. Побудовано за значеннями рівнів звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 8000 Гц у контрольних точках, дБА. Нормативний рівень звукового тиску у октавній смузі із середньгеометричною частотою 8000 Гц  $L_{8000} = 28$  дБ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення".
2. Трахтенберг І.М. Гігієна праці та виробнича санітарія: Навчальний посібник/ І.М.Трахтенберг, М.М.Коршун, О.В.Чебанова; За ред. І.М.Трахтенберга.- К., 1997.- 464 с.
3. Малая медицинская энциклопедия: в 6-ти томах / Гл. ред. В. И. Покровский. М.: Изд-во Большая советская энциклопедия, 1992. – тома 1 – 6.
4. Antony A. Effects of noise on the blood eosinophil levels and adrenals of mice. / A. Antony, E. Ankerman // J. Acoust. Soc. Amer. - 1955. - P. - 1144-1149..
5. Janousek M. Sledovanie vestiburaneho aparatu v riziku hluku a ultrazvuku / M. Janousek, I. Gruberova, D. Sviter // Pr. Lec., 1985. - Vol. 37.- P. 369-374.
6. Суворов Г. А. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций / Г. А. Суворов, Л. Н. Шкаринов, Э. И. Денисов. - М. : Медицина, 1984. - 240 с.
7. Суворов Г.А. Теоретические основы гигиенического нормирования шума. - / Г.А. Суворов, Л.Н. Шкаринов, Э.И. Денисов, В.Г. Овакимов // Вестник АМН СССР, 1981. - С. 62-66.
8. Абракизов В.Э. Натурные измерения уличного шума (с учетом фонового вклада метеорологических явлений в суммарный звуковой спектр) / В.Э. Абракизов // Коммунальное хозяйство городов. Вип. № 88. К. – Техніка, 2009. - С. 364-370.
9. Абракизов В.Э. О вкладе фонового шума в общую картину шумового загрязнения окружающей среды (на базе данных непосредственных натурных измерений, проведенных лично автором). / В. Э. Абракизов // Науковий вісник будівництва. Вип. № 53. - Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. - С. 263-266.
10. Абракизов В.Э. Натурные исследования шума г. Харькова. / В. Э. Абракизов. - Х.: Парус, 2008. – 68 с.
11. Пат. 51229 Україна, МПК04В 1/82. Спосіб ослаблення інтенсивності звукових хвиль / Абракізов В.Е. - Опубл. 12.07.2010, Бюл. № 13.
12. СНиП II-12-77. Нормы проектирования. Защита от шума. М.: Госстрой СССР, 1977.
13. ГОСТ 12.1.003-83 (СТ СЭВ 1930-79). Шум. Общие требования безопасности.
14. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. М.: Госстрой России, 2004.

15. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. К.: 1999.

16. Роїна О.М. Охорона праці в Україні. Нормативна база. (3-є вид., змін. і доп.) / О.М. Роїна - К.: КНТ, 2007. - 548 с.

17. Вся база «Законодавство України». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>.

18. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду (Офіційний сайт) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dnopr.kiev.ua/>.

19. Державні нормативні акти з охорони праці. [Електронний ресурс] . – Режим доступу: <http://dnopr.com.ua>.

20. Реєстр ДНАОП. [Електронний ресурс]: <http://www.document.org.ua/dnaop/>.

21. Поспелов П.И. Борьба с шумом на автомобильных дорогах. / П. И. Поспелов. - М.: Транспорт, 1981. – 88 с.

22. Руководство по разработке карт шума улично-дорожной сети городов. М.: НИИСФ Госстроя СССР, 1980.

23. Абракітов В.Е. Моделювання в акустиці: монографія / В. Е. Абракітов; Харьк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2011. - 227 с. - ISBN 978-966-695-226-7.

24. Самойлюк Е.П. Борьба с шумом в градостроительстве. / Е. П. Самойлюк. - К.: Будівельник, 1975. – 126 с.

25. Градостроительные меры борьбы с шумом / Осипов Г.Л. и др. - М.: Стройиздат, 1975. – 215 с.

26. Абракітов В.Э. Методологическая основа составления карты шума г. Харькова. / В. Э. Абракітов // Науковий вісник будівництва. - Вип. № 55. - Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. - С. 279 - 284.

27. Абракітов В.Е. Картографування шумового режиму центральної частини міста Харкова. Монографія. / В.Е. Абракітов; Харьк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2010. - 266 с. - ISBN 978-966-695-178-9.

28. Селіванов С.Є. Визначення інтенсивності випромінювання на відстані від джерела залежно від форми хвильового фронту. / С. Є. Селіванов, В. Е. Абракітов, О. Ю. Нікітченко, Я. І. Чупріна // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. Вып. №. 79. - К.: Техніка, 2007. – С. 356-363.

29. Абракітов В.Э. Экспериментальная проверка научной гипотезы о спаде интенсивности шумового излучения на расстоянии пропорционально отношению площадей волновых фронтов. / В. Э. Абракітов // Науковий

вісник будівництва. Вип. 54. - Х.:ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. - С. 326-332.

30. Абракизов В.Э. Проблемы моделирования в акустике и путь их решения./ В.Э. Абракизов // Оралдың ғылым жаршысы. Научно-теоретич. и практич. журнал. № 5(6) 2007. - Қазақстан: Уралнауцкига. – С. 8-14.

31. Ефимов Н.В. Линейная алгебра и многомерная геометрия. / Н. В. Ефимов, Э. Р. Розендорн. М.: Физматлит; 2004. - 464 с. - ISBN 5-9221-0386-5

32. Абракітов В. Е. Картографування шумового режиму центральної частини міста Києва: монографія / В.Е. Абракітов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2012. - 230 с.

33. Корбут А.А. Теория систем или математика? / А. А. Корбут // Исследование систем: Материалы Всесоюзного симпозиума. М., 1971. - С. 205–206.

34. Абракітов В.Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках: монографія. / В.Е. Абракітов; Харьк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2007. - 416 с. - ISBN 978-966-8482-63-2.

35. Абракизов В.Э. Аналоговое и квазианалоговое моделирование процессов распространения звука в пространстве для прогнозирования шумового режима на защищаемом объекте. / В.Э. Абракизов. – Харьков: АО ХГПИ, 1997. – 40 с.

36. Абракітов В.Э. Аналогове та квазіаналогове моделювання процесів розповсюдження звуку в просторі для прогнозування шумового режиму на об'єкті, що захищається. Друге видання, перероблене та доповнене. – / В.Е. Абракітов. – Х.: Парус, 2007. – 108 с.

37. Абракизов В.Э. Типичные формы волновых фронтов разнообразных видов излучений / В.Э. Абракизов. // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. Вып. № 38. - К.: Техніка, 2002. – С. 215–219.

38. Коржик Б.М. Влияние фронтов поверхности распространения звуковой энергии на расчеты уровней звукового давления в целях прогнозирования шумового режима городов / Б. М. Коржик, В. Э. Абракизов. // Коммунальное хозяйство городов: Республик. межведомственный сборник. Вып. №3. - К.: Техніка, 1994. - С. 105-110.

39. Абракітов В.Е. Майбутнє - за тривимірними просторовими картами шуму. / В. Э. Абракизов. // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сборник. Вып. 91. - К.-Харьков: Основа, 2010. - С. 161-168.

40. Абракизов В. Э., Аналоговое моделирование процессов распространения звука на территории города/ В. Э. Абракизов, С. В. Нестеренко. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики:

Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Вып. № 121. - Х.: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2002. - С. 87 - 94.

41. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики.

42. ДСТУ 2325-93. Шум. Терміни та визначення

43. ГОСТ 12.1.003-83\*. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

44. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. К. - 1999. - 32 с.

45. ГОСТ 12.1.029-80 (СТ СЭВ 1928-79) ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

46. ГОСТ 12.1.036-81. Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях.

47. Марков С. Б. Опыт построения карт шума в условиях сложной городской настройки с помощью программного комплекса EXNOISE / С. Б. Марков // Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики Труды IV Международной научно- практической конференции. 20-21 марта 2008 г. СПб: Изд-во МАНЭБ, 2008. - С. 42-48.

48. Абракітов В.Е. Моделювання процесів розповсюдження шуму у міській забудові із застосуванням комп'ютерних технологій / В. Е. Абракітов // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XIX міжнародної науково-практичної конференції, Ч. IV. (MicroCAD-2011, 01-03.06.2011 р.)– Х.: НТУ «ХП».- С.61.

49. Абракітов В.Е. Шумовий режим центральної частини м. Києва в районі вулиці Хрещатик. / В.Е. Абракітов. // Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції: Науково-техн. збірник. - К.: Основа, 2011. - С. 231-237.

*Наукове видання*

**Абракітов** Володимир Едуардович

**КАРТОГРАФУВАННЯ ШУМОВОГО РЕЖИМУ  
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ МІСТА ПОЛТАВА**

Монографія

*За авторською редакцією*

Відповідальний за випуск

*Я. О. Серіков*

Дизайн обкладинки

*Г. А. Коровкіна*

Художник-ілюстратор

*В. Е. Абракітов*

Комп'ютерне верстання

*Н. В. Зражевська*

Підп. до друку 23.10.2012.

Формат 60 x 84/16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 12,1

Тираж 500 пр.

Зам. №.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова,

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014